

Kurzlehrbuch Neuroanatomie

Norbert Ulfig



Thieme

Auf einen Blick

1	Grundlagen zum Nervensystem	1
2	Entwicklung des Nervensystems	19
3	Peripheres Nervensystem	31
4	Rückenmark (Medulla spinalis)	73
5	Hirnstamm (Truncus encephali)	91
6	Kleinhirn (Cerebellum)	115
7	Zwischenhirn (Diencephalon)	127
8	Endhirn (Telencephalon)	143
9	Hüllen des ZNS und Liquorsystem	167
10	Blutgefäße des ZNS	179
11	Funktionelle Systeme	197
12	Sinnesorgane	229
13	Anhang	257

Kurzlehrbuch

Neuroanatomie

Norbert Ulfig

137 Abbildungen

50 Tabellen

Georg Thieme Verlag
Stuttgart · New York

Professor Dr. Norbert Ulfig
AG Neuroembryologie, Institut für Anatomie
Universität Rostock
Gertrudenstr. 9
18057 Rostock

Grafiken:

Günther Ritschel
Institut für Anatomie der Universität, Rostock
Karin Baum
B'nM Medical Graphics LTD, Paphos/Zypern

Klinische Fälle als Kapiteleinstiege:
Lehrbuchredaktion Georg Thieme Verlag mit
Fachbeirat Dr. med. Eva Schippmann
Layout: Künkel und Lopka, Heidelberg
Umschlaggestaltung: Thieme Verlagsgruppe

*Die Deutsche Bibliothek –
CIP-Einheitsaufnahme*

Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist bei der Deutschen Bibliothek erhältlich.

Wichtiger Hinweis: Wie jede Wissenschaft ist die Medizin ständigen Entwicklungen unterworfen. Forschung und klinische Erfahrung erweitern unsere Erkenntnisse, insbesondere was Behandlung und medikamentöse Therapie anbelangt. Soweit in diesem Werk eine Dosierung oder eine Applikation erwähnt wird, darf der Leser zwar darauf vertrauen, dass Autoren, Herausgeber und Verlag große Sorgfalt darauf verwandt haben, dass diese Angabe **dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes entspricht**. Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag jedoch keine Gewähr übernommen werden. **Jeder Benutzer ist angehalten**, durch sorgfältige Prüfung der Beipackzettel der verwendeten Präparate und gegebenenfalls nach Konsultation eines Spezialisten festzustellen, ob die dort gegebene Empfehlung für Dosierungen oder die Beachtung von Kontraindikationen gegenüber der Angabe in diesem Buch abweicht. Eine solche Prüfung ist besonders wichtig bei selten verwendeten Präparaten oder solchen, die neu auf den Markt gebracht worden sind. **Jede Dosierung oder Applikation erfolgt auf eigene Gefahr des Benutzers**. Autoren und Verlag appellieren an jeden Benutzer, ihm etwa auffallende Ungenauigkeiten dem Verlag mitzuteilen.

© 2008 Georg Thieme Verlag KG
Rüdigerstraße 14
D-70469 Stuttgart
Unsere Homepage: <http://www.thieme.de>

Printed in Germany

Satz: primustype Robert Hurler GmbH, Notzingen
gesetzt auf 3B2
Druck: Grafisches Centrum Cuno GmbH & Co. KG, Calbe

ISBN 978-3-13-142951-3

1 2 3 4 5 6

Geschützte Warennamen (Warenzeichen) werden **nicht** besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt. Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Vorwort

Mit diesem Kurzlehrbuch wurde der Versuch unternommen, das komplexe Teilgebiet der Neuroanatomie verständlich und umfangreich darzustellen. Auch wenn ein Kurzlehrbuch natürlich an enge Vorgaben zum Umfang gebunden ist, wurde durchweg kaum auf Details verzichtet, da bei der Prüfungsvorbereitung gerade auf dem Gebiet der Neuroanatomie ihre Einordnung in den Gesamtzusammenhang häufig schwer fällt.

Ferner stand im Vordergrund, neuroanatomische Strukturen mit Funktion und klinischer Bedeutung darzustellen. Es erleichtert nicht nur das Lernen, sondern es motiviert den Studierenden, wenn schon beim ersten Lernen der Bezug zum klinischen Alltag verdeutlicht wird.

Als bewährte Elemente der Kurzlehrbuch-Reihe erleichtern Lerncoachs, Lerntipps und Check-ups gerade in diesem komplizierten Gebiet den Einstieg für den Anfänger. Zahlreiche Tabellen und Verschaltungsschemata sowie die zusammenfassende Darstellung der funktionellen Systeme komprimieren den vom Gegenstandskatalog geforderten Inhalt für ein übersichtliches Lernen und Wiederholen vor Semesterprüfungen und der 1. ÄP.

Der Umfang des Buches erscheint für ein Teilgebiet der Anatomie auf den ersten Blick vielleicht etwas hoch. Es ist jedoch zu beachten, dass neben den zentralnervösen Strukturen auch die Sinnesorgane und das periphere Nervensystem umfassend be-

handelt werden. So sind z.B. die Darstellungen zu den peripheren Nerven gut geeignet, um sie im gesamten Präparierkurs einzusetzen.

Ich hoffe, dass dieses Kurzlehrbuch dazu beitragen kann, das Lernen der Neuroanatomie mit mehr Verständnis und Freude zu kombinieren. Für konstruktive Hinweise und Kritiken bin ich jederzeit sehr dankbar.

Danksagung:

Bei allen, die an der Fertigstellung dieses Buches beteiligt waren, möchte ich mich ganz herzlich bedanken, insbesondere bei:

Günther Ritschel (Institut für Anatomie, Universität Rostock); Erstellung der Grafiken

Karin Baum (B'nM Medical Graphics LTD); Erstellung der Verschaltungsschemata und Beschriftung der Grafiken

Sabine Cleven, Daniel Paschke, Marko Schulze und Jana Weiß-Müller (Institut für Anatomie, Universität Rostock); Mitwirkung bei der Manuskripterstellung

Dorothea Thilo (Georg Thieme Verlag); Ermöglichung des Buches in der vorliegenden Form durch weit reichende Unterstützung und Anregungen im Rahmen der fachredaktionellen Manuskriptüberarbeitung.

Norbert Ulfig

Rostock, im Januar 2008

Abkürzungen:

A.	=	Arteria
Aa.	=	Arteriae
Ggl.	=	Ganglion
Lig.	=	Ligamentum
M.	=	Musculus
Mm.	=	Musculi
N.	=	Nervus
n.	=	nervi
Ncl.	=	Nucleus
Ncll.	=	Nuclei
Nn.	=	Nervi
R.	=	Ramus
Rr.	=	Rami
V.	=	Vena
Vv.	=	Venae

Inhalt

1	Grundlagen zum Nervensystem	3	3	Peripheres Nervensystem	33
1.1	Der Überblick und die Funktion des Nervensystems	3	3.1	Der Überblick	33
1.2	Die Gliederung und Grundbegriffe	3	3.2	Die Spinalnerven und ihre Äste	33
1.2.1	Die strukturelle Gliederung	3	3.2.1	Die Entstehung des Spinalnervs	33
1.2.2	Die funktionelle Gliederung	5	3.2.2	Die Äste des Spinalnervs	33
1.2.3	Die Richtung der Erregungsleitung und die Rezeptoren	6	3.2.3	Die Dermatome und Hautnervenareale	35
1.3	Die Bauelemente des Nervensystems	7	3.2.4	Die Plexusbildung	35
1.3.1	Das Neuron (die Nervenzelle)	7	3.3	Der Plexus cervicalis	37
1.3.2	Die Synapsen	9	3.3.1	Die motorischen Äste (Ansa cervicalis)	38
1.3.3	Die Gliazellen	11	3.3.2	Die sensiblen Äste	38
1.3.4	Die Nervenfasern	14	3.3.3	Der Nervus phrenicus	39
1.3.5	Der periphere Nerv	16	3.4	Der Plexus brachialis	39
1.3.6	Die Ganglien im PNS	17	3.4.1	Die Bildung der Trunci und Äste der Pars supraclavicularis	39
2	Entwicklung des Nervensystems	21	3.4.2	Die Bildung der Fasciculi und Äste der Pars infraclavicularis	41
2.1	Der Überblick	21	3.5	Der Plexus lumbosacralis	48
2.2	Die Neurulation und die Neuralleiste	21	3.5.1	Der Plexus lumbalis	49
2.2.1	Die Neurulation – Entstehung des Neuralrohrs	21	3.5.2	Der Plexus sacralis	52
2.2.2	Die Neuralleiste	22	3.6	Die Hirnnerven	57
2.3	Die Entwicklung des Rückenmarks und der Spinalnervenzurzen	23	3.6.1	Die Funktion, Faserqualitäten und Ganglien der Hirnnerven	57
2.4	Die Entwicklung des Gehirns	24	3.6.2	Der Verlauf der Hirnnerven III–XII	59
2.4.1	Die Ausbildung der Form	25	3.6.3	Der Nervus oculomotorius (III)	59
2.4.2	Die Entwicklung des Rautenhirns	26	3.6.4	Der Nervus trochlearis (IV)	61
2.4.3	Die Entwicklung des Mittelhirns	27	3.6.5	Der Nervus trigeminus (V)	62
2.4.4	Die Entwicklung des Zwischenhirns und der Hypophyse	27	3.6.6	Der Nervus abducens (VI)	64
2.4.5	Die Entwicklung des Endhirns	27	3.6.7	Der Nervus facialis (VII)	66
			3.6.8	Der Nervus vestibulocochlearis (VIII)	69
			3.6.9	Der Nervus glossopharyngeus (IX)	69
			3.6.10	Der Nervus vagus (X)	69
			3.6.11	Der Nervus accessorius (XI)	72
			3.6.12	Der Nervus hypoglossus (XII)	72
4	Rückenmark (Medulla spinalis)	75	4.1	Der Überblick	75
4.1	Der Überblick	75	4.2	Die Gestalt und die Gliederung	75
4.2	Die Gestalt und die Gliederung	75	4.2.1	Die Lage, Form und Oberfläche	75
4.2.1	Die Lage, Form und Oberfläche	75	4.2.2	Die Rückenmarkssegmente	75
4.2.2	Die Rückenmarkssegmente	75			

4.2.3	Der Rückenmarksquerschnitt	78	6	Kleinhirn (Cerebellum)	117
4.3	Die Verschaltungen und Bahnen im Rückenmark	81	6.1	Der Überblick	117
4.3.1	Die Verschaltungen	82	6.2	Die Lage, Gliederung und Funktion	117
4.3.2	Der Verbindungsapparat	82	6.2.1	Die Lage	117
4.3.3	Der Eigenapparat und die spinalen Reflexe	86	6.2.2	Die morphologische Gliederung	117
4.3.4	Der übertragene Schmerz	88	6.2.3	Die funktionelle Gliederung	119
			6.2.4	Die Funktionen des Kleinhirns	119
5	Hirnstamm (Truncus encephali)	93	6.3	Der Aufbau	120
5.1	Der Überblick	93	6.3.1	Die Kleinhirnrinde	120
5.2	Die Medulla oblongata	94	6.3.2	Die Kleinhirnkerne	123
5.2.1	Die Lage und Oberfläche der Medulla oblongata	94	6.3.3	Die Kleinhirnstiele (Pedunculi cerebellares)	124
5.2.2	Die Gliederung und der innere Aufbau der Medulla oblongata	96	7	Zwischenhirn (Diencephalon)	129
5.3	Der Pons	97	7.1	Der Überblick und die Oberfläche	129
5.3.1	Die Lage und Oberfläche des Pons	97	7.1.1	Die Anteile des Zwischenhirns	129
5.3.2	Die Gliederung und der innere Aufbau des Pons	97	7.1.2	Die Ansicht des Zwischenhirns von medial und basal	129
5.4	Das Mesencephalon	99	7.2	Der Thalamus und der Metathalamus	130
5.4.1	Die Lage und Oberfläche des Mesencephalon	99	7.2.1	Die Einteilung und die Verbindungen der Thalamuskern	130
5.4.2	Die Gliederung und der innere Aufbau des Mesencephalon	99	7.2.2	Der Metathalamus: Corpus geniculatum laterale und Corpus geniculatum mediale	134
5.5	Die Formatio reticularis	102	7.3	Der Hypothalamus und die Hypophyse	134
5.5.1	Die Lage und Gliederung der Formatio reticularis	102	7.3.1	Die Kerngebiete des Hypothalamus	134
5.5.2	Die Raphekerne	103	7.3.2	Die Afferenzen und Efferenzen des Hypothalamus	135
5.5.3	Die funktionellen Zentren	103	7.3.3	Die Funktionen des Hypothalamus	136
5.6	Die Bahnen im Hirnstamm	105	7.3.4	Das Zusammenspiel von Hypothalamus und Hypophyse	138
5.6.1	Die Faserbahnen innerhalb des Hirnstamms	105	7.3.5	Die Hypophyse	139
5.6.2	Die langen absteigenden Bahnen	107	7.4	Der Epithalamus	140
5.6.3	Die langen aufsteigenden Bahnen	107	7.4.1	Die Anteile des Epithalamus	140
5.7	Die Hirnnervenkerne und Austrittsstellen der Hirnnerven	108	7.4.2	Die Epiphyse	140
5.7.1	Die Ursprungskerne	109	7.4.3	Die Habenula, Nuclei habenulares, Commissura habenularum und Stria medullaris	141
5.7.2	Die Endkerne	111	7.4.4	Die Area pretectalis und Commissura posterior	141
5.7.3	Die Sonderstellung des Nucleus mesencephalicus nervi trigemini	111			
5.7.4	Die Austrittsstellen der Hirnnerven III–XII	112			

8	Endhirn (Telencephalon)	145
8.1	Der Überblick	145
8.2	Die Oberfläche	146
8.2.1	Die Ansicht von lateral	146
8.2.2	Die Ansicht von medial	146
8.2.3	Die Ansicht von unten	149
8.3	Der Isokortex	150
8.3.1	Der histologische Aufbau des Isokortex	150
8.3.2	Die funktionellen Kortexareale	151
8.4	Die subkortikalen Kerne	157
8.4.1	Die Basalganglien und funktionell assoziierte Kerne	157
8.4.2	Die weiteren subkortikalen Kerne des Endhirns	159
8.5	Die weiße Substanz des Endhirns	161
8.5.1	Die Einteilung der Fasersysteme	161
8.5.2	Die Assoziationsbahnen	161
8.5.3	Die Kommissurenbahnen	161
8.5.4	Die Projektionsbahnen	162
8.6	Der Hippocampus	163
8.6.1	Das Cornu ammonis	164
8.6.2	Der Gyrus dentatus	165
8.6.3	Das Subiculum	165
8.6.4	Die Area entorhinalis	165
8.6.5	Die Erregungsausbreitung und die Verbindungen des Hippocampus	165

9	Hüllen des ZNS und Liquorsystem	169
9.1	Der Überblick	169
9.2	Die Meningen	169
9.2.1	Die Einteilung der Meningen	169
9.2.2	Die Pachymeninx (Dura mater)	169
9.2.3	Die Leptomeninx (Arachnoidea mater und Pia mater)	171
9.2.4	Die Blutversorgung und die Innervation der Meningen	172
9.3	Das Liquorsystem	172
9.3.1	Der äußere Liquorraum	172
9.3.2	Der innere Liquorraum	174
9.3.3	Der Liquor cerebrospinalis und die Plexus choroidei	176

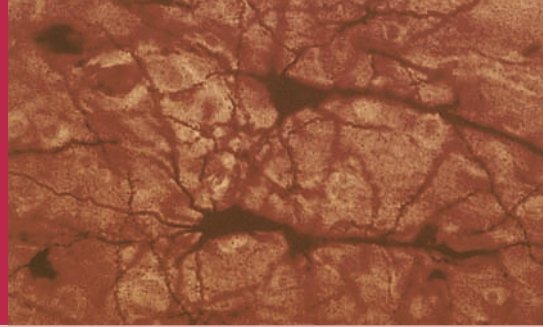
9.4	Die Blut-Liquor-Schranke, die Blut-Hirn-Schranke und die zirkumventrikulären Organe	177
9.4.1	Die Blut-Liquor-Schranke	177
9.4.2	Die Blut-Hirn-Schranke	178
9.4.3	Die zirkumventrikulären Organe	178

10	Blutgefäße des ZNS	181
10.1	Der Überblick	181
10.2	Die Arterien	181
10.2.1	Das vertebrobasiläre Stromgebiet	181
10.2.2	Das Karotisstromgebiet	184
10.2.3	Der Circulus arteriosus cerebri (Willisi)	186
10.2.4	Die Versorgungsgebiete der drei großen Hirnarterien	187
10.2.5	Die arterielle Versorgung des Kleinhirns und des Hirnstamms	189
10.2.6	Die arterielle Versorgung des Rückenmarks	190
10.3	Die Venen und die Sinus durae matris	190
10.3.1	Die Venae superficiales cerebri	191
10.3.2	Die Venae profundae cerebri	192
10.3.3	Die Venen des Kleinhirns und des Hirnstamms	192
10.3.4	Die Venen des Rückenmarks	193
10.3.5	Die Sinus durae matris	193

11	Funktionelle Systeme	199
11.1	Das somatomotorische System	199
11.1.1	Der Überblick	199
11.1.2	Das pyramidal-motorische System	200
11.1.3	Das extrapyramidal-motorische System	200
11.2	Das somatosensible System	205
11.2.1	Der Überblick	205
11.2.2	Das Verschaltungsprinzip somatoafferenter Bahnen	206
11.2.3	Die spinoafferenten Systeme	206
11.2.4	Das Trigeminessystem	209
11.3	Das visuelle System	210
11.3.1	Der Überblick	210
11.3.2	Die Sehbahn zur Vermittlung bewusster Seheindrücke	210

11.3.3 Weitere visuelle Untersysteme	212	12.2.3 Der optische Apparat	244
11.3.4 Die optischen Reflexe	213	12.2.4 Die Netzhaut (Retina)	247
11.4 Das auditorische System	214	12.2.5 Die Hilfseinrichtungen des Auges	249
11.4.1 Der Überblick	214	12.2.6 Die Orbita (Augenhöhle) mit Leitungsbahnen	252
11.4.2 Die Hörbahn	214	12.3 Das Geruchs- und das Geschmacksorgan	253
11.4.3 Die Kollateralen der Hörbahn	216	12.3.1 Das Geruchsorgan	253
11.5 Das vestibuläre System	217	12.3.2 Das Geschmacksorgan	254
11.5.1 Der Überblick	217	12.4 Die Rezeptoren in der Haut und im Bewegungsapparat	254
11.5.2 Die Vestibulariskerne und ihre Verbindungen	217	12.4.1 Die Hautrezeptoren	254
11.6 Das olfaktorische und das gustatorische System	218	12.4.2 Die Rezeptoren des Bewegungs- apparats	255
11.6.1 Der Überblick	218	13 Anhang	259
11.6.2 Das olfaktorische System	218	13.1 Schnittbilder	259
11.6.3 Das gustatorische System	220	13.1.1 Frontalschnitte	259
11.7 Das vegetative Nervensystem	221	13.1.2 Horizontalschnitte	262
11.7.1 Der Überblick und die Funktion	221	13.1.3 Sagittalschnitte	263
11.7.2 Der Sympathikus	223	13.2 Verschaltungen	264
11.7.3 Der Parasympathikus	226	13.2.1 Verschaltungen im motorischen System	264
11.7.4 Das enterische Nervensystem (Darmwandnervensystem)	226	13.2.2 Verschaltungen im somatosensiblen System	266
11.8 Das limbische System	227	13.2.3 Verschaltungen im visuellen System	267
11.8.1 Der Überblick	227	13.2.4 Verschaltungen im auditorischen und vestibulären System	269
11.8.2 Die Strukturen des limbischen Systems und ihre Verbindungen	227	13.2.5 Verschaltungen im gustatorischen und olfaktorischen System	270
11.8.3 Die Funktionen des limbischen Systems	228	13.2.6 Verschaltungen im limbischen System	271
12 Sinnesorgane	231	13.2.7 Verschaltungen im vegetativen und neuroendokrinen System	271
12.1 Das Ohr mit Hör- und Gleichgewichtsorgan	231	13.3 Literaturverzeichnis	273
12.1.1 Der Überblick	231	13.4 Quellenverzeichnis	274
12.1.2 Das äußere Ohr (Auris externa)	231	Sachverzeichnis	275
12.1.3 Das Mittelohr (Auris media)	233		
12.1.4 Das Innenohr (Auris interna)	238		
12.2 Das Sehorgan und seine Hilfseinrichtungen	243		
12.2.1 Der Überblick	243		
12.2.2 Der prinzipielle Aufbau des Bulbus oculi	243		

Kapitel 1



Grundlagen zum Nervensystem

- 1.1 Der Überblick und die Funktion des Nervensystems 3
- 1.2 Die Gliederung und Grundbegriffe 3
- 1.3 Die Bauelemente des Nervensystems 7

Reine Nervensache



Mit der angeschlagenen Stimmgabel auf dem Fußknöchel wird das Vibrationsempfinden geprüft, das bei Polyneuropathien typischerweise herabgesetzt ist (Pallästhesie).

Polyneuropathie ist eine Schädigung mehrerer peripherer Nerven. Was so harmlos klingt, kann zu einem schwerwiegenden Problem werden. Treten durch die Nervenschädigungen Gefühlsstörungen in den Extremitäten auf, kann es vorkommen, dass der Patient an manchen Stellen keine Schmerzen empfindet. Verletzungen werden nicht mehr gespürt. Wunden, die auf diese Weise unentdeckt bleiben, können sich entzünden. Im schlimmsten Fall gelangen Keime aus der Wunde in den Blutkreislauf und können dann zu lebensbedrohlichen Krankheitszuständen (z. B. Sepsis) führen. Jede der Strukturen einer peripheren Nervenfasern – das Axon, die Gliahüllen, die Myelinscheiden – können bei der Nervenschädigung betroffen sein. Die Ursachen der Läsionen sind oft toxische Substanzen wie etwa Alkohol. Doch auch Stoffwechselerkrankungen wie Diabetes mellitus können zu Schäden der peripheren Nerven führen.

Brennende Füße

Beim Sonntagsspaziergang bleibt Manfred S. plötzlich stehen, zischt vor Schmerz und beißt die Zähne zusammen. „Brennen Deine Füße wieder?“ hört er hinter seinem Rücken die Stimme seiner Frau „Ja! Au! Ich weiß wirklich nicht, was das ist ... Vielleicht sollte ich endlich einen Arzt aufsuchen“, stöhnt der 55-Jährige. Bis auf eine Leistenhernien-Operation und ein

paar Erkältungen in der Winterzeit ist der gelernte Schlosser bisher kerngesund gewesen. Seine Frau beklagt zwar immer, er sei zu dick und würde sich schlecht ernähren, doch als Handwerker ist Manfred S. viel unterwegs: Für ausgiebiges Kochen oder ausgewählte Gerichte bleibt ihm bei seiner Arbeit keine Zeit.

Während Manfred S. dem Hausarzt von seinen Beschwerden berichtet, hat dieser schon einen leisen Verdacht. Er rät dem Schlosser, einen Neurologen aufzusuchen. „Ich soll zu einem Nervenarzt?“ fragt der Patient ungläubig. Daraufhin sagt ihm der Hausarzt, dass Missempfindungen an den Füßen auftreten können, wenn periphere Nerven gestört sind.

Diagnose: Klinisch

Als die Neurologin Dr. Rode von seinen Beschwerden hört, erhebt sie bei Herrn S. zunächst eine genaue Anamnese. Sie erfährt, dass das Brennen in den Füßen nachts stärker ist als tagsüber. Der Patient klagt darüber, dass er manchmal das Gefühl habe, „wie auf Watte“ zu gehen und sich besonders im Dunkeln unsicher beim Gehen fühle. In der neurologischen Untersuchung sieht die Ärztin, dass der Patient geht, als würde er den Boden unter den Füßen nicht spüren. Weiterhin stellt Frau Dr. Rode fest, dass der Achillessehnenreflex rechts ausgefallen und links deutlich abgeschwächt ist. Ihr fällt auch auf, dass bei der Prüfung mit einer Stimmgabel das Vibrationsempfinden in beiden Füßen des Patienten gestört ist. Dem Patienten gegenüber äußert sie ihre Diagnose: „Sie haben eine Polyneuropathie“.

Der Grunderkrankung auf der Spur

Als sie den verständnislosen Blick im Gesicht von Herrn S. sieht, erklärt sie weiter: „Vermutlich sind ihre peripheren Nerven nicht ganz in Ordnung. Etwas hat sie beschädigt – jetzt müssen wir nur herausfinden, was.“ Dr. Rode nimmt ihrem Patienten Blut ab und misst den Blutzucker im Tagesprofil. Das Ergebnis: Manfred S. hat im gesamten Tagesverlauf deutlich erhöhte Glukosewerte. Die Ursache seiner Polyneuropathie ist Diabetes mellitus. Jetzt muss die Grunderkrankung behandelt werden – dann wird die Polyneuropathie zumindest nicht weiter voranschreiten.

1 Grundlagen zum Nervensystem

1.1 Der Überblick und die Funktion des Nervensystems

Das Nervensystem, das man nach strukturellen und funktionellen Gesichtspunkten unterschiedlich gliedern kann, ist wohl das komplizierteste funktionelle System des menschlichen Körpers. Es ist den übrigen Organsystemen übergeordnet und bildet als Kommunikations- und Steuerungsorgan die Grundlage für eine schnelle und sinnvolle Anpassung des Körpers (sowohl an Veränderungen in der Umwelt als auch im Körperinneren). Die Steuerung erfolgt nach Eingang und Verarbeitung (Koordinierung) von Informationen im Gehirn; entsprechende Impulse gelangen dann in die Peripherie (zu Erfolgsorganen). Ferner kennzeichnen das Gehirn höhere Funktionen wie Wahrnehmen und Interpretation des Wahrgenommenen, Lernen, Denken, Fühlen und die Initiierung angemessener Verhaltensweisen.

Um diese Funktionen erfüllen zu können, spielt die Leitung von Informationen in Form elektrischer Signale eine ebenso große Rolle wie die Kommunikation der Nervenzellen (**Neurone**) untereinander. Sie erfolgt über (meist chemische) **Synapsen**. Nicht direkt an der Informationsübermittlung beteiligt, jedoch für die Funktion der Neurone von essenzieller Bedeutung sind die **Gliazellen**, bei denen man strukturell und funktionell verschiedene Typen unterscheidet. Dabei kommen im zentralen Nervensystem (**ZNS** = Rückenmark und Gehirn) grundsätzlich andere Gliazelltypen vor als im peripheren Nervensystem (**PNS** = periphere Nerven und Ganglien).

1.2 Die Gliederung und Grundbegriffe



Lerncoach

Machen Sie sich zu Beginn dieses Kurzlehrbuchs zunächst mit Grundbegriffen der Neuroanatomie vertraut, die Sie als Verständnisgrundlage für das Fach benötigen. Weiterhin ist es zur besseren Orientierung in den nachfolgenden Kapiteln ratsam, sich bereits an dieser Stelle einen ganz groben Überblick über die Abschnitte des Gehirns zu verschaffen.

Das Nervensystem lässt sich nach verschiedenen Gesichtspunkten gliedern. Dabei sind jedoch die Grenzen oftmals nicht so streng zu sehen, wie es die Einteilungen suggerieren könnten. So liegen z.B. bei manchen Neuronen das Perikaryon (der Zellkörper) im ZNS und sein Axon zu großen Teilen im PNS oder umgekehrt.

1.2.1 Die strukturelle Gliederung

Die beiden großen morphologischen Einheiten (ZNS und PNS) unterscheiden sich in ihrem Aufbau und ihrer Lage, sind jedoch funktionell eng miteinander verzahnt. Makroskopisch kann man in beiden Anteilen sowohl graue als auch weiße Substanz finden, denen histologische Besonderheiten zugrunde liegen.

1.2.1.1 Das Zentralnervensystem (ZNS)

Zum ZNS gehören das Rückenmark (im Wirbelkanal) und das Gehirn (in der Schädelhöhle). Beide werden von den (bindegewebigen) Hirn- bzw. Rückenmarkshäuten, den **Meningen**, umschlossen.

Das **Rückenmark (Medulla spinalis)** (s. S. 75) wird in Rückenmarkssegmente unterteilt, die nur durch den paarigen Austritt von Vorder- und Hinterwurzeln erkennbar sind.

Das **Gehirn (Encephalon)**, dessen Konsistenz der eines Puddings ähnelt, wiegt beim Erwachsenen 1350–1550 g (Männer) bzw. 1200–1370 g (Frauen) und wird von kaudal nach kranial in folgende Abschnitte unterteilt (**Abb. 1.1**):

- **Medulla oblongata** (verlängertes Mark, s. S. 94)
- **Pons** (Brücke, vorn, s. S. 97)
- **Cerebellum** (Kleinhirn, hinten, s. S. 117)
- **Mesencephalon** (Mittelhirn, s. S. 99)
- **Diencephalon** (Zwischenhirn, s. S. 129), zu dem folgende Anteile gehören:
 - Thalamus mit Metathalamus
 - Hypothalamus, an dem die Hypophyse (Hirnanhangsdrüse) befestigt ist,
 - Subthalamus
 - Epithalamus.
- **Telencephalon** (Endhirn, auch Großhirn oder Cerebrum, s. S. 145) aus zwei Hemisphären, das große Teile des Zwischen- und Mittelhirns überdeckt.

Einige Hirnabschnitte können zu größeren Einheiten zusammengefasst werden (s. auch Kapitel 2: Entwicklung des Nervensystems).

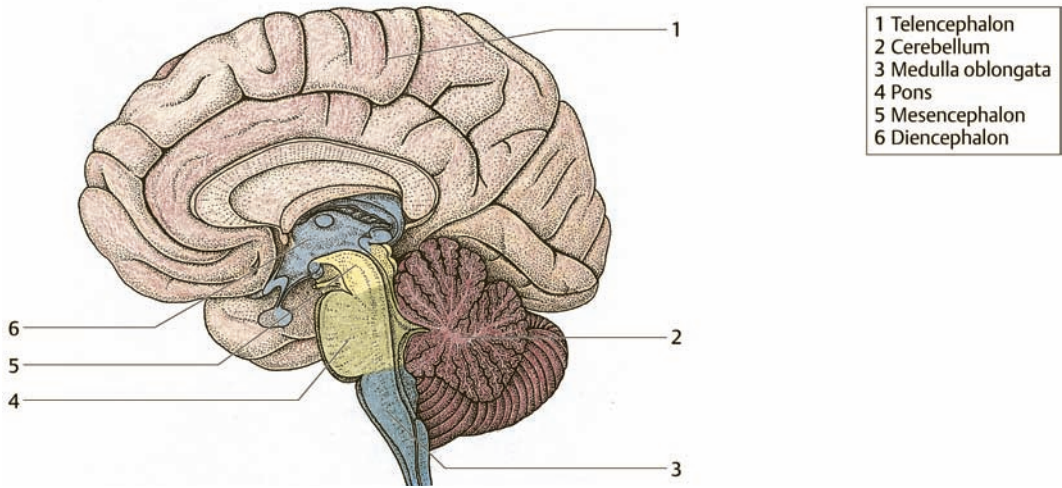


Abb. 1.1 Abschnitte des Gehirns

- **Hirnstamm (Truncus encephali):** Medulla oblongata, Pons und Mesencephalon (s. S. 93)
- **Rautenhirn (Rhombencephalon):** Medulla oblongata, Pons und Cerebellum
- **Vorderhirn (Prosencephalon):** Telencephalon und Diencephalon.

Das Prosencephalon liegt größtenteils in der vorderen und mittleren Schädelgrube (Fossa cranii anterior und media), das Kleinhirn und der Hirnstamm (größtenteils) in der hinteren Schädelgrube (Fossa cranii posterior).

Infolge seiner entwicklungsbedingten Krümmungen sind am Gehirn die herkömmlichen Richtungsbezeichnungen nicht immer eindeutig. Daher werden zur Lagebeschreibung von Hirnstrukturen teilweise spezielle Angaben verwendet (z. B. „rostral“ = „schnabelwärts“).

Klinischer Bezug

Comotio und Contusio cerebri: Bei der Comotio cerebri (Gehirnerschütterung) liegen keine grob fassbaren Läsionen vor (eventuell axonale Schädigungen). Es tritt eine über Minuten andauernde Bewusstseinsstörung (mit Erinnerungslücke = Amnesie) auf. Weiterhin können Übelkeit, Erbrechen, Kopfschmerzen auftreten.

Bei der Contusio cerebri liegt eine deutlich fassbare Schädigung der Hirnsubstanz (bei stumpfen Gewalt-

einwirkungen) vor. An der Stelle der Gewalteinwirkung tritt ein Stoßherd (Rindenprellungsherd, „Coup“) auf. Charakteristisch ist zusätzlich ein stärker ausgeprägter Herd am gegenüberliegenden Hirnabschnitt („Contre-Coup“). Er entsteht infolge der Bewegung des puddingähnlichen Gehirns bei abrupter Änderung der intrakraniellen Druckverhältnisse (Sogwirkung auf der Contre-Coup-Seite).

In den Windungskuppen beider Herde entstehen kleine Blutungen (aus Gefäßrissen) und Nekrosen. Später kommt es durch Proliferation der Astrozyten (s. S. 12) zu einer Glianarbe.

Leitsymptom der Contusio cerebri ist die längere (bis zu Wochen dauernde) Bewusstseinsstörung mit verzögerter Rückbildung (und ausgedehnter amnestischer Lücke). Während der Aufhellung des Bewusstseins kann es zu Durchgangssyndromen (Störungen des Antriebs, der Wahrnehmung und des Denkens) kommen. Auch epileptische Anfälle können nach einer durchgemachten Contusio cerebri auftreten.

Die graue Substanz des ZNS (Substantia grisea)

Die graue Substanz besteht u.a. aus Ansammlungen von Nervenzellkörpern. Im Gehirn kommt die Substantia grisea z.T. an der Oberfläche in Form der Rinde (**Cortex** cerebri = Endhirnrinde, Cortex cerebelli = Kleinhirnrinde) vor. Im Inneren des Ge-

hirns findet sich graue Substanz in Form von unterschiedlich großen Kerngebieten (**Nuclei**).

An Rückenmarksquerschnitten erkennt man die Substantia grisea als **schmetterlings-** bzw. **H-förmige Struktur** in der Mitte.

In der grauen Substanz erfolgen meist synaptische Umschaltungen. Liegen spezifische Umschaltstellen (z.B. innerhalb der Hörbahn oder anderen funktionellen Systemen, s.S.199) in ganz spezifischen Kerngebieten, spricht man auch von **Relaiskernen**.

Die weiße Substanz des ZNS (Substantia alba)

Die weiße Substanz besteht u.a. aus einer Ansammlung von Nervenfasern, die häufig in Bündeln (als **Tractus**, **Fasciculus** oder **Fibrae**) verlaufen. Die Benennung der Faserbahnen erfolgt häufig durch Zusammensetzen ihres Beginns mit ihrem Ziel: Die Fasern des Tractus corticospinalis z.B. ziehen von der Endhirnrinde (Cortex cerebri) zum Rückenmark (Medulla spinalis).

Im Rückenmark findet sich die weiße Substanz oberflächlich um die graue Substanz. Im Gehirn liegt sie unter der Rinde und umgibt die im Inneren gelegenen Kerne.

1.2.1.2 Das periphere Nervensystem (PNS)

Zum PNS zählen alle Teile des Nervensystems außerhalb des ZNS. Das PNS besteht aus Nerven (s.S.16) und Ganglien (s.S.17), die jeweils neuronale Anteile (s.S.7) und Gliazellen (s.S.11) umfassen.

- Bei den **Nerven** (weiße Substanz des PNS) unterscheidet man solche, die mit dem Rückenmark in Verbindung stehen (31 Spinalnervenpaare, s.S.33) von den 12 Hirnnervenpaaren. Streng genommen zählen allerdings die ersten beiden Hirnnervenpaare nicht zum peripheren Nervensystem (s.S.57).
- Ein **Ganglion** (graue Substanz des PNS) ist eine Ansammlung von Nervenzellkörpern mit entsprechenden typischen Gliazellen *außerhalb* des ZNS.

Das PNS kann als Rezeptions- und Ausführungsorgan des ZNS aufgefasst werden.

1.2.2 Die funktionelle Gliederung

1.2.2.1 Das animalische (= somatische) Nervensystem

Das animalische Nervensystem umfasst alle Teile des ZNS und PNS, die der Verbindung (Interaktion) zwischen Organismus und Umwelt dienen. Es ist insbesondere charakterisiert durch bewusste Wahrnehmungen und willkürliche Bewegungen. Die Afferenzen des animalischen Nervensystems kommen von Rezeptorzellen (besonders der Sinnesorgane). Seine Efferenzen ziehen zu den Skelettmuskeln.

1.2.2.2 Das vegetative (= autonome) Nervensystem

Das vegetative Nervensystem reguliert unbewusst und unwillkürlich z.B. Kreislauf, Blutdruck, Atmung, Verdauung. Es ist somit verantwortlich für die Aufrechterhaltung des inneren Milieus (Homöostase) und beeinflusst eigenständig die Organfunktionen entsprechend den jeweiligen Erfordernissen. Seine Information erhält das vegetative Nervensystem über Afferenzen z.B. aus den inneren Organen, seine Efferenzen ziehen z.B. zu glatten Muskelzellen (des Verdauungstraktes oder der Gefäße) und zu Drüsenzellen.

Man unterscheidet beim vegetativen Nervensystem Sympathikus und Parasympathikus, die meist entgegengesetzt wirken:

- Der **Sympathikus** ist aktiv in Stresssituationen wie z.B. bei Bedrohung („Flucht, Kampf“): Das Herz schlägt schneller und kräftiger, die Atemfrequenz und der Blutdruck steigen.
- Der **Parasympathikus** dient eher der Erholung des Körpers („Entspannung“): Das Herz schlägt langsamer, die Atemfrequenz nimmt ab, die Verdauung ist aktiviert.

Weiterhin zählt man zum vegetativen Nervensystem das **enterische Nervensystem**, das u.a. die autonome Steuerung der Darmwandbewegungen übernimmt und durch Sympathikus und Parasympathikus beeinflusst werden kann.

1.2.3 Die Richtung der Erregungsleitung und die Rezeptoren

1.2.3.1 Die efferenten und afferenten Fasern

In einem (peripheren) Nerven sind meist efferente und afferente Nervenfasern enthalten:

- Die **efferenten** (wegführenden) Fasern leiten Erregungen vom ZNS (Rückenmark bzw. Hirnstamm) zum Zielorgan in der Peripherie (z.B. Muskel).
- Die **afferenten** (hinführenden) Fasern leiten Erregungen aus der Peripherie (z.B. Haut) zum ZNS. Bei diesen Afferenzen hatte sich im deutschen Sprachgebrauch lange Zeit eingebürgert, sensorische Fasern (für die Vermittlung spezieller Sinnesreize im Kopfbereich) von sensiblen Fasern (für die Leitung von Informationen aller übrigen Sinnesempfindungen) zu unterscheiden. Auch wenn diese Unterscheidung zunehmend unterlassen und für alle Sinnesqualitäten der Begriff „Sensorik“ gleichbedeutend mit „Sensibilität“ verwendet wird, kann diese begriffliche Differenzierung auch hilfreich sein (z.B. bei der Innervation der Zunge: sensorisch → Weiterleitung von Geschmacksinformationen; sensibel → Weiterleitung der übrigen Empfindungen). Die Zusammenfassung ist hingegen hilfreich, wenn unter einer Sammelbezeichnung beide Qualitäten gemeint sind (z.B. kortikale sensorische Sekundär- und Assoziationsfelder, s. S. 151).

Die Begriffe efferent und afferent werden auch für Verschaltungen innerhalb des ZNS genutzt: Ein efferentes Neuron leitet einem anderen Neuron ein Signal zu. Ein afferentes Neuron erhält ein Signal von einem anderen Neuron. Dabei beziehen sich die Begriffe jeweils auf eine immer mit anzugebende Struktur: Ein Neuron im ZNS empfängt Informationen von einem anderen Neuron, dessen Faser in diesem Zusammenhang die Afferenz bildet. Gleichzeitig schickt es Informationen über sein eigenes Axon, das in diesem Fall die efferente Faser bildet, zu einer weiteren Nervenzelle. So erhalten z.B. die motorischen Neurone des Rückenmarks *Afferenzen* aus der Endhirnrinde. Diese Fasern sind bezogen auf die Neurone in der Endhirnrinde jedoch *efferent*.

Neurone eines Kerngebiets im ZNS erhalten meist verschiedene Afferenzen (von Neuronen aus ande-

ren Kerngebieten oder aus dem Kortex) und schicken Efferenzen zu bestimmten Arealen (Kerne, Rinde oder Rückenmark).

1.2.3.2 Die Rezeptoren

An einem Rezeptor werden physikalische oder chemische Reize aufgenommen und in elektrische Erregung übersetzt. Nach Art des Reizes unterscheidet man Mechano-, Thermo- und Chemo-rezeptoren. Bei den Mechanorezeptoren kann weiterhin unterschieden werden zwischen in der Haut liegenden Exterozeptoren, die vorrangig Oberflächensensibilität vermitteln und Propriozeptoren für Informationen aus dem Bewegungsapparat (Stellung von Rumpf und Extremitäten; Tiefensensibilität).

Für die Aufnahme von Reizen sind Axonenden und Sinneszellen verantwortlich. Ein Beispiel für Erstere sind **freie Nervenendigungen** (ohne Schwann-Zellen, s. S. 14) für die Nozizeption (Aufnahme von Schmerzreizen).

Bei den Sinneszellen werden unterschieden:

- **Primäre Sinneszellen** besitzen einen Fortsatz, der das ZNS erreicht.
- **Sekundäre Sinneszellen**, an die Nervenfasern herantreten, die Informationen über eine Synapse aufnehmen und in Richtung ZNS leiten. Diese Nervenfaser gehört zu einem **primär afferenten Neuron**, dessen Perikaryon z.B. in einem Spinal- oder Hirnnervenganglion liegt.



Check-up

- ✓ **Wiederholen Sie die Anordnung von grauer und weißer Substanz im ZNS und überlegen Sie, welche Unterschiede es dabei zwischen Gehirn und Rückenmark gibt.**
- ✓ **Rekapitulieren Sie, wie Reize aufgenommen werden können.**

1.3 Die Bauelemente des Nervensystems



Lerncoach

Achten Sie beim Lesen dieses Abschnitts stets darauf, ob es sich um Informationen handelt, die für das gesamte Nervensystem zutreffen oder ob sie nur für das zentrale oder periphere Nervensystem gelten. Machen Sie sich dabei die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen ZNS und PNS klar.

1.3.1 Das Neuron (die Nervenzelle)

1.3.1.1 Der Aufbau des Neurons

Das Neuron ist die strukturelle und funktionelle Einheit des Nervensystems. Jedes Neuron besteht aus einem Zellkörper (Perikaryon) und Fortsätzen (Abb. 1.2), die durch das Zytoskelett stabilisiert werden. Das **Zytoskelett** der Nervenzelle besteht aus Mikrotubuli, Intermediärfilamenten (hier: Neurofilamenten) und Aktinfilamenten. Neben der mechanischen Stabilisierung der Fortsätze dienen sie auch dem Transport von Organellen und Proteinen innerhalb der Fortsätze.

Das Perikaryon

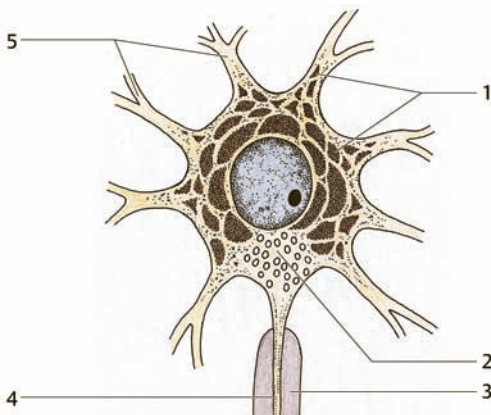
Das Perikaryon (auch Soma oder Zelleib/-körper) ist das Stoffwechselzentrum der Nervenzelle. Hier liegt der meist große Zellkern mit einem deutlichen Nukleolus. Das Zytoplasma enthält Zusammenlagerungen von rauem endoplasmatischem Retikulum (ER), zahlreiche freie Ribosomen, Golgi-

Felder, Mitochondrien und Lysosomen. Die vielen Stapel (Schollen) des rauen ER sind Ausdruck einer intensiven Proteinsynthese und werden als **Nissl-Substanz** bezeichnet. Mit zunehmendem Alter kommt es in vielen Nervenzellen zur Anhäufung von Telolysosomen (lysosomale Restkörper), die als **Lipofuszingranula** beschrieben werden.

Die Fortsätze

Die der Reizaufnahme dienenden Fortsätze (meist mehrere) sind die **Dendriten**; sie leiten die Signale weiter zum Perikaryon. In der Peripherie verzweigen sie sich baumartig zu immer dünneren Ästen. Die Dendriten einiger Nervenzellen (z. B. der Pyramidenzellen) besitzen feine dornenförmige Fortsätze (**Spines**), an denen sich Synapsen finden (s.u.).

Der Fortsatz, der die Erregung zu einer anderen Zelle leitet, ist das **Axon** (im deutschen Sprachraum auch als **Neurit** bezeichnet). Das Axon beginnt am **Ursprungskegel** (Axonhügel, frei von Nissl-Substanz), dem sich das **Initialsegment** (Anfangssegment, noch ohne Myelinscheide) anschließt. Die Plasmamembran des Initialsegments ist besonders reich an Na^+ -Kanälen; sie ist deshalb leicht erregbar, sodass hier auch leicht Aktionspotenziale entstehen. Ein Aktionspotenzial ist eine kurze Änderung des Membranpotenzials (elektrische Potenzialdifferenz zwischen Zellinnerem und Extrazellularraum, s. Lehrbücher der Physiologie). Vereinfacht kann man neuronale Aktionspotenziale als Signale bezeichnen, in denen Informationen „verschlüsselt“ sind.



- | | |
|---|-----------------------------|
| 1 | Nissl-Substanz |
| 2 | Ursprungskegel |
| 3 | Myelin |
| 4 | Axon |
| 5 | Verzweigungen von Dendriten |

Abb. 1.2 Morphologie einer Nervenzelle

MERKE

Das gesamte Axon inklusive des Axonhügels ist frei von Nissl-Substanz. Im Bereich seines Anfangssegments fehlt zudem eine Myelinscheide, und die Entstehung von Aktionspotenzialen ist hier begünstigt.

Von der darauf folgenden Hauptverlaufsstrecke des Axons können schon proximale Kollateraläste abgehen. Kurz vor seinem Ende (präterminal) verzweigt sich das Axon in viele kleine Äste, die jeweils mit einer kolbenförmigen Erweiterung (**Bouton**) enden. Letztere sind Bestandteile der Synapsen.

Innerhalb der grauen Substanz bilden die Dendriten und Axone (mit zahlreichen synaptischen Kontakten) zusammen mit Gliazellfortsätzen das **Neuropil**, das den Raum zwischen den Zellkörpern einnimmt.

1.3.1.2 Die Neuronentypen

Nach Form und Größe des Somas sowie nach Anzahl, Länge und Verzweigungsmuster der Fortsätze lassen sich verschiedene neuronale Typen unterscheiden (**Tab. 1.1** und **Abb. 1.3**).

Die Wirkung eines Neurons auf die nachgeschaltete Zelle hängt sowohl von dem an der Synapse ausgeschütteten Transmitter als auch von dem Rezeptor ab, an den er bindet.

Tabelle 1.1

Nervenzelltypen	
Typ	Charakteristikum und Lokalisation
Morphologische Einteilung	
Multipolare Nervenzellen	Sehr häufiger Nervenzelltyp mit zahlreichen Dendriten und einem Axon
Beispiele: – Motoneurone – sympathische Neurone	im Rückenmark (Vorderhorn) in Grenzstrangganglien
Unterformen: – Pyramidenzellen – Purkinje-Zellen – Sternzellen – Mitralzellen	in der Endhirnrinde in der Kleinhirnrinde in der Kleinhirnrinde im Bulbus olfactorius
Bipolare Nervenzellen	seltenerer Zelltyp mit einem Axon und einem Dendriten, die von den gegenüberliegenden Enden des spindelförmigen Perikaryons abgehen
Beispiele: – bestimmte retinale Neurone – Ganglienzellen	in der Retina im Innenohr
Pseudounipolare Nervenzellen	Zelltyp mit einem vom Perikaryon abgehenden Stammfortsatz, der sich T-förmig aufteilt in: – einen zentralen Fortsatz („eigentliches“ Axon mit efferenter Leitung zum ZNS) und – einen peripheren Fortsatz (aufgrund seiner afferenten Leitung aus der Peripherie manchmal als „dendritisches Axon“ bezeichnet, obwohl es – anders als ein gewöhnlicher Dendrit – Aktionspotenziale generiert)
Beispiel: sensible Neurone	in Spinalganglien in sensiblen Hirnnervenganglien
Funktionelle Einteilung	
Projektionsneurone (Golgi-Typ-1-Zellen)	große Perikarya lange Axone leiten Erregungen in weit entfernte Areale
Beispiel: Pyramidenzellen	Endhirnrinde
Interneurone (Golgi-Typ-2-Zellen)	kleine Perikarya kurze Axone zu Neuronen in der unmittelbaren Umgebung
Beispiel: Sternzellen	Kleinhirnrinde

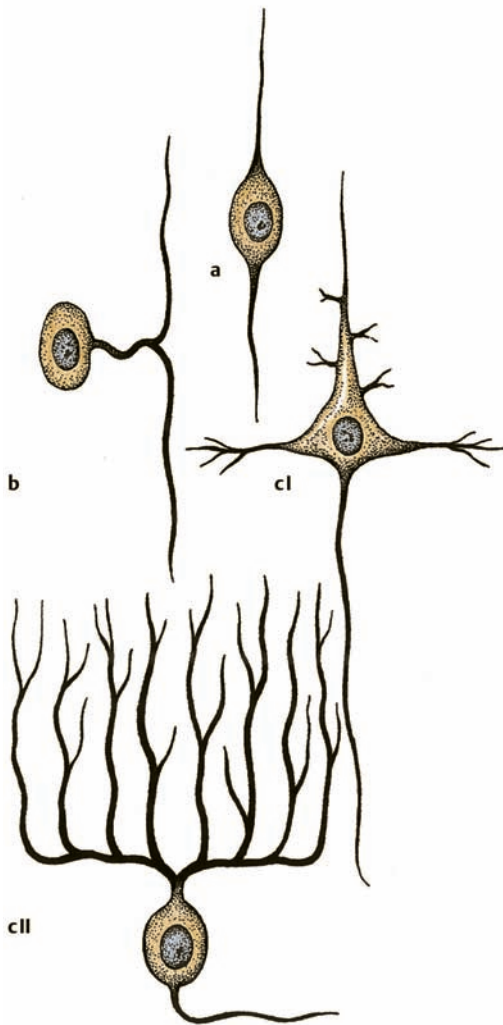


Abb. 1.3 Verschiedene Nervenzelltypen
a bipolares Neuron
b pseudounipolares Neuron
c multipolare Neurone: Pyramidenzelle (I) und Purkinje-Zellen (II)

1.3.2 Die Synapsen

1.3.2.1 Der Aufbau und die Funktion

Synapsen sind die Kontaktstellen zwischen Nervenzellen oder zwischen Nervenzellen und Effektorzellen (z. B. Skelettmuskelfasern) und bilden die strukturellen Grundlagen für die Signalübertragung. Es werden elektrische und chemische Synapsen unterschieden. Elektrische Synapsen entsprechen neuronalen Gap junctions und sind selten, dann aber sehr wichtig (z. B. im Innenohr, Retina).

Im Folgenden wird der Begriff „Synapse“ als Kurzform für die häufigeren chemischen Synapsen genutzt, die man nach verschiedenen Kriterien einteilen kann (s. u.). Die Strukturen dieser Synapsen sind:

- präsynaptische Membran am Axonende (Bouton)
- synaptische Vesikel (mit Neurotransmitter) in den Boutons
- synaptischer Spalt (ca. 20–30 nm) zwischen prä- und postsynaptischer Membran
- postsynaptische Membran an der nachgeschalteten Zelle mit Rezeptoren für den Neurotransmitter.

Erreicht ein Aktionspotenzial das Axonende, entleert eine gewisse Anzahl von Vesikeln ihren Inhalt (Neurotransmitter) durch Exozytose in den synaptischen Spalt. Der Transmitter diffundiert durch den synaptischen Spalt und bindet an Rezeptoren der postsynaptischen Membran. Dadurch werden electrophysiologische Veränderungen der Membran hervorgerufen, die dann zu einem Aktionspotenzial an der postsynaptischen Zelle führen oder seine Entstehung verhindern können.

Der Transmitter muss dann aus dem synaptischen Spalt beseitigt werden, indem er

- enzymatisch gespalten wird und die Bruchstücke wieder in das Axonende aufgenommen werden
- als Ganzes wieder in das Axonende oder von einem Astrozytenfortsatz (s. S. 12) in der Nähe des Spaltes aufgenommen wird.

1.3.2.2 Die Einteilung nach den beteiligten Zellarten

Nach diesem Klassifikationskriterium unterscheidet man:

- **Interneuronale** Synapsen: zwischen zwei Neuronen mit weiteren Differenzierungsmöglichkeiten (s. u.).
- **Neuromuskuläre** Synapsen: zwischen Neuronen und Muskelzellen oder –fasern. Bei neuromuskulären Synapsen zwischen Motoneuron und Skelettmuskelfaser (**motorische Endplatte**) liegt die Axonendigung in einer Vertiefung der Muskelfasermembran. Letztere ist in tiefe parallele Falten gelegt (subneuraler Faltenapparat zur Oberflächenvergrößerung). Die Axonendigung

enthält eine große Anzahl acetylcholinhaltiger Vesikel.

- **Neuroglanduläre** Synapsen: zwischen Neuronen und exokrinen oder endokrinen Drüsenzellen.

1.3.2.3 Die Einteilung nach der Lokalisation des Endknopfes (Bouton)

Die interneuronalen Synapsen lassen sich je nach Lokalisation des Endknopfes (Bouton) am postsynaptischen Neuron weiter unterscheiden in:

- **axodendritische** Synapsen (am häufigsten): zwischen Axonende und Dendritenschaft oder Dendritenspine (**Dornsynapsen**)
- **axosomatische** Synapsen: zwischen Axonende und Perikaryon
- **axoaxonale** Synapsen: zwischen Axonende und Initialsegment oder präterminalem Abschnitt eines anderen Axons.

Seltenere Synapsenformen I

Neben der Interaktion des Axons mit anderen Neuronabschnitten, können auch **Dendriten und Zellleib** untereinander in synaptischer Verbindung stehen:

- somatodendritische Synapsen
- dendrosomatische Synapsen
- somatosomatische Synapsen
- dendrodendritische Synapsen: häufig reziprok (zwei synaptische Abschnitte an einer Synapse, mit Signalübertragung in beide Richtungen, was eine absolute Ausnahme darstellt, da die Übertragung sonst immer nur unidirektional erfolgt).

Ebenfalls seltener kommen folgende **Spezialformen** von synaptischen Kontakten vor:

- **synaptische Glomeruli**: aus Axonen und Dendriten; mit zahlreichen Synapsen, um einen zentral liegenden Dendriten oder eine zentral liegende Axonterminale; durch Astrozyten abgegrenzt; Vorkommen: z.B. in der Kleinhirnrinde, im Bulbus olfactorius und im Thalamus
- **komplexe Synapsen**: bei Dornsynapsen, Bouton umfasst gesamten Dorn mit zahlreichen Synapsen
- **Band-Synapsen** (= Ribbon-Synapsen): setzen fortlaufend Neurotransmitter frei und erst durch das Sistieren wird ein Signal generiert; Vorkommen: z. B. Photorezeptoren (Retina)
- **serielle Synapsen**: axodendritische Synapse + axoaxonale Synapse (nebeneinander)

- **Synapsen en passant**: im Verlauf eines Axons, an einer Varikosität; Vorkommen: v. a. bei vegetativen Axonen.

1.3.2.4 Die Einteilung nach der Funktion

Nach der Funktion der Synapsen, die vom Transmitter und vom Rezeptortyp abhängt, unterscheidet man:

- exzitatorische (erregende) Synapsen (→ Auslösung eines Aktionspotenzials an der postsynaptischen Nervenzelle wird begünstigt) und
- inhibitorische (hemmende) Synapsen (→ Auslösung eines Aktionspotenzials an der postsynaptischen Nervenzelle wird erschwert).

Einige Transmitter wirken in Abhängigkeit vom Rezeptor erregend oder hemmend (s. u.).

Exzitatorische (erregende) Synapsen (häufig axodendritisch) sind elektronenmikroskopisch in der Regel **asymmetrisch (Gray-I-Synapsen)**: d. h. unter der rezeptortragenden postsynaptischen Membran befindet sich vermehrt elektronendichtes Material (postsynaptische Dichte mit Proteinen, die eine Diffusion von Rezeptormolekülen aus der postsynaptischen Membran verhindern und bei Aktivierung chemische Signale generieren). Das präsynaptische Neuron enthält **runde** Vesikel.

Inhibitorische (hemmende) Synapsen sind **symmetrisch (Gray-II-Synapsen)**, d. h. die gegenüberliegenden prä- und postsynaptischen Verdichtungen sind etwa gleich breit. Präsynaptisch finden sich zahlreiche **ovale** Vesikel.

Die präsynaptischen Verdichtungen und die angelagerten Vesikel sind die aktiven Zonen (= Orte der Exozytose). Hier finden sich zahlreiche Proteine in der Vesikelmembran und in der präsynaptischen Membran (z. B. Synaptotagmin, Syntaxin, SNAP 25), die an der Exozytose beteiligt sind. In der präsynaptischen Membran liegen zudem Ca^{2+} -Kanäle, deren Öffnung durch ein eintreffendes Aktionspotenzial zur Erhöhung der mitrazellulären Ca^{2+} -Konzentration führt (= Vorbedingung für die Exozytose).

1.3.2.5 Die Einteilung nach dem Neurotransmitter

Sowohl die Synapsen als auch das präsynaptische Neuron können nach dem eingesetzten Transmitter benannt werden, indem die Silbe „-erg“ an den Transmitternamen angehängt wird (z. B. cholinerg, dopaminerg, GABAerg). Die Neurotransmitter lassen sich unterschiedlichen chemischen Gruppen zuordnen und wirken in Abhängigkeit vom postsynaptischen Rezeptor unterschiedlich.

Cholinerge Synapsen setzen Acetylcholin frei, das meist erregend, an einigen Rezeptorsubtypen jedoch inhibitorisch wirkt.

Monoaminerge Synapsen: Zur Transmittergruppe der Monoamine (biogene Amine) gehören: Dopamin, Noradrenalin, Adrenalin, Serotonin und Histamin. Die Wirkungen hängen vom jeweiligen Rezeptor ab.

Synapsen mit Aminosäuren als Transmitter sind **glutamaterg** (Glutamat, weit verbreitet, exzitatorisch), **GABAerg** (GABA = γ -Aminobuttersäure, weit verbreitet, inhibitorisch) oder **glyzinerger** (Glycin, inhibitorisch im Rückenmark).

Neben diesen klassischen Transmittern kommen noch **Peptide** als Überträgerstoffe vor, z. B. Substanz P, Cholezystokinin, Somatostatin, Vasoaktives Intestinales Peptid (VIP) oder Opioide wie Endomorphin. Diese Peptidtransmitter sind häufig mit einem klassischen Transmitter in einer Synapse lokalisiert, d. h. die präsynaptischen Endigungen enthalten Vesikel mit einem Peptid und Vesikel mit einem klassischen Transmitter. Die Peptidtransmitter wirken dabei als **Neuromodulatoren**: Sie verstärken oder vermindern die Wirkung der klassischen Transmitter. Ihr Effekt setzt langsam ein und ist länger andauernd. Ungewöhnliche Transmitter sind Gase wie NO (Stickstoffmonoxid). Sie werden nicht durch Exozytose abgegeben und haben keine membranständigen Rezeptoren. Ihre Bindung erfolgt an zytosolische Enzyme, die dann die sekundären Botenstoffe (mit neuromodulatorischer Wirkung) bilden.

1.3.3 Die Gliazellen

1.3.3.1 Die Funktion und die Einteilung

Nervenzellen können ihre Funktion nicht ohne die Unterstützung der Gliazellen ausüben. Letztere übernehmen vielfältige Aufgaben: Hüll-, Stütz- und Schutzfunktion, K^+ - und H^+ -Homöostase, Transmitter-Recycling, Narbenbildung, Auskleidung der Ventrikel, Bildung von Grenzmembranen und Abwehrreaktionen (bei ZNS-Schädigungen).

Die Anzahl der Gliazellen ist etwa 10-mal höher als die der Nervenzellen. Gliazellen können im Gegensatz zu Neuronen proliferieren.

Klinischer Bezug

Hirntumoren: Der größte Teil der Hirntumoren geht von den Gliazellen des ZNS aus. Oft deutet schon der Name (Astrozytom, Oligodendrozytom, Ependymom) auf den Zelltyp hin, aus dem der Tumor entsteht. Das hochmaligne Glioblastom ist auch astrozytären Ursprungs. Die entdifferenzierten Zellen vermehren sich sehr schnell und auch radikale Therapieformen (Operation, Strahlentherapie) sind wenig erfolgversprechend.

Man unterscheidet zentrale Glia (Gliazellen im ZNS) und periphere Glia (Gliazellen im PNS).

Die **zentrale Glia** lässt sich wiederum in **Makro-** und **Mikroglia** einteilen:

- Zur Makroglia gehören Astrozyten, die Oligodendrozyten und die Ependymzellen.
- Die Mikrogliazellen sind – wie der Name schon sagt – die kleinsten Gliazellen.

Die Zelltypen der **peripheren Glia** sind:

- die Schwann-Zellen und
- die Mantelzellen (= Satellitenzellen).

1.3.3.2 Die Astrozyten im ZNS

Die Morphologie

Die sternförmigen Astrozyten bilden den häufigsten und den größten Gliazelltyp. Sie kommen sowohl in der weißen als auch in der grauen Substanz des ZNS vor. Ihre Intermediärfilamente bestehen aus den astrozytenspezifischen Proteinen **GFAP** (= glial fibrillary acidic protein). Nach der Menge an Intermediärfilamenten werden unterschieden:

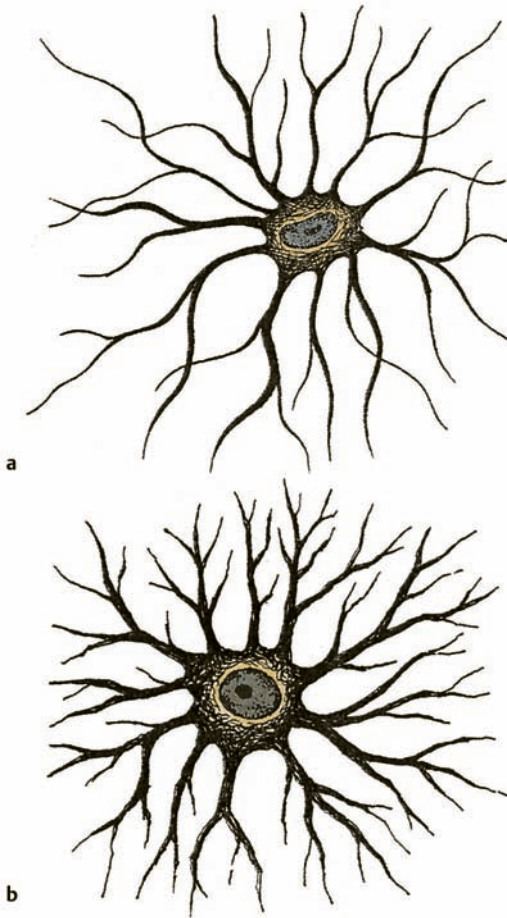


Abb. 1.4 Fibrillärer (a) und protoplasmatischer (b) Astrozyt

- **fibrilläre (fibrillenreiche) Astrozyten** (Abb. 1.4a) = Faserastrozyten mit langen dünnen Fortsätzen (vornehmlich in der weißen Substanz)
- **protoplasmatische Astrozyten** (Abb. 1.4b) mit kurzen, dicken, stärker verzweigten Fortsätzen (hauptsächlich in der grauen Substanz).

Untereinander stehen Astrozyten über Gap junctions (Nexus) miteinander in Verbindung.

Klinischer Bezug

Pilozytäre Astrozytome: Diese Tumoren, die sich von Astrozyten ableiten, treten vorwiegend im Kindes- und Jugendalter, meist im Kleinhirn und Hirnstamm, auf. Sie verursachen langsam progrediente Kleinhirn-

symptome (s. S. 119) und sind gut abgrenzbar (d.h. auch gut operabel). Histologisch erkennt man zahlreiche GFAP-positive Zytoplasmaausläufer.

MERKE

Durch immunhistochemische Verfahren mit Antikörpern gegen GFAP können Astrozyten nachgewiesen werden, was z. B. für die Diagnosestellung zentraler Tumoren relevant ist.

Sonderformen der Astrozyten sind:

- radiäre/radiale Gliazellen (frühe Form der Astrozyten, wichtig für die Wanderung von Nervenzellen während der Entwicklung, s. S. 21), im adulten Gehirn noch vorhanden als:
 - Bergmann-Glia (s. Kleinhirn, S. 122) und
 - Müller-Zellen (s. Retina, S. 247)
- Pituizyten (s. Hypophysenhinterlappen, S. 139).

Die Funktion

Die Astrozyten übernehmen vielfältige Aufgaben, die im Folgenden aufgeführt sind:

- Stützfunktion (anstelle eines bindegewebigen Stromas)
- Regulation der K^+ -Konzentration in der Extrazellulärflüssigkeit
- Bedeckung von Synapsen durch Astrozytenfortsätze: Aufnahme und Metabolisierung von Transmittern (z.B. Glutamat)
- Bildung von Grenzscheiden zu nicht-neuronalen Geweben mittels verbreiterter Füßchen der Astrozytenfortsätze:
 - Membrana limitans gliae perivascularis (Gliagrenzmembran um Kapillaren)
 - Membrana limitans gliae superficialis (Gliagrenzmembran an der Oberfläche des ZNS)
- Umhüllung von Bündeln markloser Axone (s. S. 16)
- Sekretion von neurotrophen Faktoren
- Bildung von Glianarben durch Proliferation der Astrozyten nach Verletzungen oder Erkrankungen (wie Entzündungen, z. B. Poliomyelitis).

1.3.3.3 Die Oligodendrozyten im ZNS

Die Oligodendrozyten sind im Vergleich zu den Astrozyten kleiner und besitzen weniger und kürzere Fortsätze (Abb. 1.5). Ihre dichten runden Kerne sind von einem schmalen Zytoplasmasaum umge-

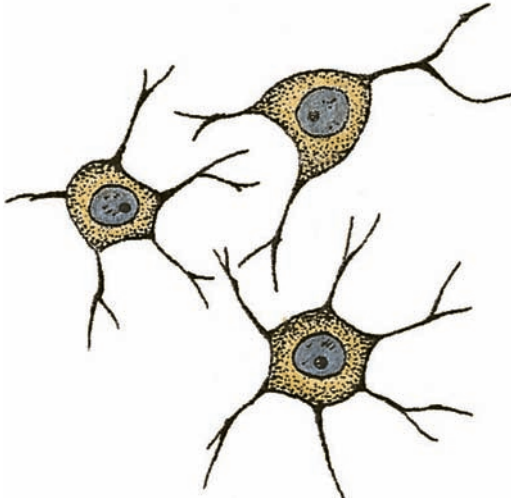


Abb. 1.5 Oligodendrozyt



Abb. 1.6 Mikrogliazelle (ruhend)

ben. Die Oligodendrozyten bilden die Markscheiden (s. S. 15) im ZNS und sind somit in der weißen Substanz besonders zahlreich anzutreffen. Ihre Funktion innerhalb der grauen Substanz, wo sich auch Oligodendrozyten finden, ist bisher nicht geklärt.

1.3.3.4 Die Mikrogliazellen im ZNS

Die Mikrogliazellen (nach ihrem Erstbeschreiber auch Hortega-Zellen genannt) sind die kleinsten Gliazellen (Abb. 1.6). Sie kommen sowohl in der grauen als auch in der weißen Substanz vor und liegen häufig in der Nähe von Gefäßen (*perivaskuläre* Mikroglia). Die Mikroglia wird durch unterschiedliche Schädigungen/Erkrankungen des ZNS aktiviert (s.u.), weshalb man ruhende und aktivierte Mikrogliazellen mit unterschiedlicher Form voneinander unterscheiden kann:

- **Ruhende Mikrogliazellen** besitzen dünne und lange Fortsätze, die stark verzweigt sind (**ramifizierte Mikroglia**).
- **Aktivierte Mikroglia** hat kurze und dickere (plumpe) Fortsätze.

Durch ihre Herkunft unterscheiden sich die Mikrogliazellen von allen anderen Glia- und Nervenzelltypen: Sie entstehen nicht aus dem Neuroepithel, sondern wandern während der Fetalentwicklung in das ZNS ein. Aufgrund ihrer Herkunft und Funktion

werden die Mikrogliazellen dem mononukleären (= monozytären) Phagozyten-System (**MPS**) zugeordnet: Sie gehen im Knochenmark aus denselben Vorläuferzellen wie die Blutmonozyten hervor, können *phagozytieren* (Makrophagen des ZNS) und dienen zudem als *Antigen-präsentierende Zellen*. Somit sind sie an der unspezifischen und spezifischen Abwehr beteiligt (Teil des *Abwehrsystems*). Nach Aktivierung sind die Mikrogliazellen zudem amöboid beweglich, proliferieren und sezernieren zytotoxische Substanzen (wie z.B. Zytokine). Bei vielen ZNS-Erkrankungen sind die Mikrogliazellen vermehrt und phagozytieren (z.B. die Myelinabbauprodukte bei der Multiplen Sklerose).

1.3.3.5 Die Ependymzellen im ZNS

Das Ependym kleidet die Hirnventrikel und den Zentralkanal des Rückenmarks aus. Es besteht aus iso- bis hochprismatischen epithelähnlichen Zellen, die einen einschichtigen Zellverband bilden (Abb. 1.7). Die Ependymzellen sind über Nexus und Desmosomen miteinander verbunden und besitzen meist Kinozilien.

Besondere Formen von Ependymzellen sind die **Tanzyten** und das Epithel des Plexus choroideus. Tanzyten kommen im Ependym des III. und IV. Ventrikels vor. Sie besitzen oft nur eine Kinozilie und sind charakterisiert durch einen langen basalen

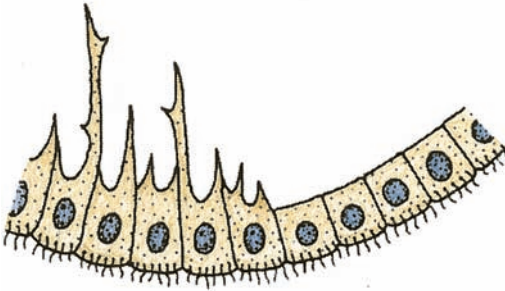


Abb. 1.7 Ependymzellen mit Kinozilien in der Ventrikelwand
links: Tanyozyten mit langen basalen Ausläufern;
rechts: kubische Epithelzellen

Ausläufer (bis zu 500 μm), der weit in das Nervengewebe dringt und dort in perivaskuläre Räume zieht (s. zirkumventrikuläre Organe, s. S. 178). Das Plexusepithel ist einschichtig-isoprismatisch und besitzt Mikrovilli und Tight junctions.

1.3.3.6 Die Schwann-Zellen und die Mantelzellen im PNS

Die **Schwann-Zellen** bilden die Gliahülle um die Axone in peripheren Nerven (s. u.).

Meist eine Schicht von **Mantelzellen** (auch Satellitenzellen oder Amphizyten) umhüllt die Perikarya der peripheren Ganglienzellen. Darum liegt eine Basallamina. Sie besitzen ähnliche Funktionen wie die Astrozyten des ZNS.

1.3.4 Die Nervenfasern

1.3.4.1 Die Einteilung

Eine Nervenfaser besteht aus einem Axon und einer Gliahülle. Letztere besteht im PNS aus Schwann-Zellen und im ZNS aus Oligodendrozyten. Nach dem Aufbau ihrer Gliahülle unterscheidet man markhaltige und marklose Nervenfasern:

- Bei **markhaltigen** Nervenfasern liegt um das Axon die Myelinscheide (Markscheide), die aus zahlreichen dünnen Lamellen der jeweiligen Gliazellen besteht.
- Bei **marklosen** Nervenfasern werden mehrere Axone von der Gliazelle umschlossen; es kommt nicht zur Ausbildung einer Markscheide.

Im PNS bilden gebündelte Nervenfasern die peripheren Nerven. Im ZNS finden sich Bündel aus Ner-

venfasern gleicher Funktion in Form von Tractus, Fasciculi oder Fibræ.

Der Axondurchmesser korreliert direkt mit der Myelinscheidendicke und der Leitungsgeschwindigkeit: Je dicker die myelinisierte Faser, desto höher ist die Leitungsgeschwindigkeit (A-Fasern: dick, markhaltig $\rightarrow$ hohe Leitungsgeschwindigkeit; C-Fasern: marklos, dünn $\rightarrow$ geringe Leitungsgeschwindigkeit; Details s. Lehrbücher der Physiologie).

1.3.4.2 Die markhaltigen Nervenfasern im PNS

Im peripheren Nervensystem geht die Markscheide aus den Zellmembranen der Schwann-Zelle hervor. Während der Entwicklung legt sich das Axon in eine längsverlaufende Rinne der Schwann-Zelle. Das Axon gelangt zunehmend tiefer in die Rinne, sodass es von lippenförmigen Vorwölbungen der Schwann-Zelle umfasst wird. Diese Vorwölbungen verschmelzen zum **Mesaxon** (Duplikatur der Zellmembran der Schwann-Zelle), das sich dann viele Male um das Axon wickelt (**Abb. 1.8**).

Durch diese Umwicklungen des Mesaxons entsteht der lamelläre Aufbau der Myelinscheide. Nach Abschluss der Markscheidenentwicklung bleiben ein äußeres Mesaxon als Verbindung zur Oberfläche der Schwann-Zelle und ein inneres Mesaxon als Verbindung zur Axonoberfläche erhalten.

Bei der Entwicklung der lamellären Myelinstruktur verschwindet das Zytoplasma der Schwann-Zelle, sodass die zytoplasmatischen Oberflächen der Schwann-Zell-Membran direkt aneinander liegen (**Kompaktierung des Myelins**). Gleichzeitig verschwindet auch der Extrazellularraum und die äußeren Lamellen der Schwann-Zell-Membranen liegen dann aneinander. Dadurch sind elektronenmikroskopisch im Myelin Haupt- und Zwischenlinien erkennbar.

Dicke Axone besitzen dicke Myelinscheiden aus mehreren hundert Umwicklungen.

Um die lamelläre Markscheide liegt ein Mantel aus Zytoplasma der Schwann-Zelle mit dem sich nach außen vorbuckelnden Zellkern. In dieser Art sind entlang eines Axons mehrere Schwann-Zellen hintereinander angeordnet.

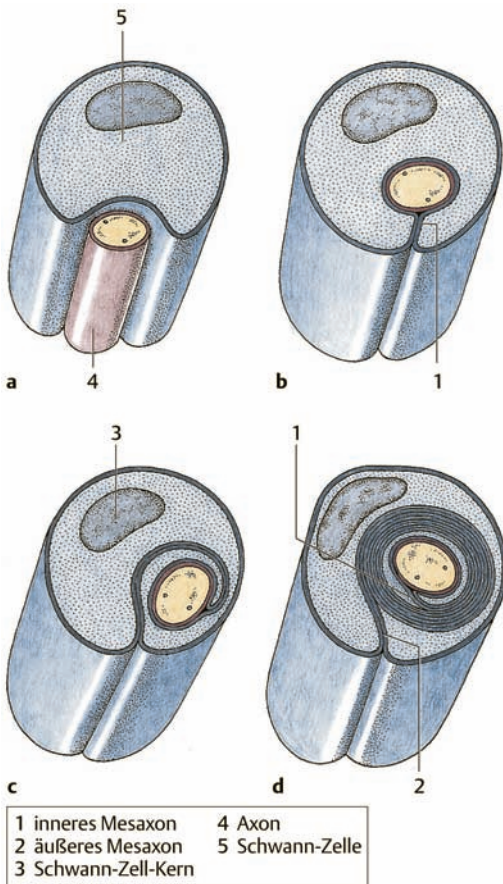


Abb. 1.8 Markscheidenentwicklung (Myelinisierung) im PNS

MERKE

Ein Axon lagert sich in *zahlreiche* Schwann-Zellen ein, die hintereinander entlang des Axons angeordnet sind. Anders als bei Fasern im ZNS (s. u.) umhüllt jede dieser Schwann-Zellen jedoch nur den jeweiligen Abschnitt *eines* Axons.

Als **Ranvier-Schnürring** (Knoten) bezeichnet man die Lücken zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schwann-Zellen. Der Abschnitt zwischen zwei benachbarten Ranvier-Schnürringen ist das **Internodium**; es entspricht folglich der Länge einer Schwann-Zelle. Je größer der Axondurchmesser ist, desto länger sind die Internodien.

Die Myelinscheide ist die Voraussetzung für die schnelle Erregungsleitung entlang des Axons: Die

Erregung springt dabei von einem Schnürring zum nächsten (**saltatorische Erregungsleitung** jeweils mit Generierung eines neuen Aktionspotenzials). Dadurch ist die Leitungsgeschwindigkeit mit bis zu 100 m/s wesentlich höher als bei marklosen Nervenfasern (s. u., nur ca. 1 m/s), wo sich die Erregung kontinuierlich (ohne Generierung eines neuen Aktionspotenzials) entlang der axonalen Membran ausbreitet (s. Lehrbücher der Physiologie).

Zwischen zwei Ranvier-Schnürringen kommen in unregelmäßigen Abständen lichtmikroskopisch schmale, schräg ausgerichtete Aufhellungen des Myelins vor, die **Schmidt-Lantermann-Einkerbungen** (Myelininzisuren). Im Bereich dieser Inzisuren finden sich noch Zytoplasmareste der Schwann-Zelle, d. h. nichtkompaktes Myelin. Hier lokalisierte **Nexus** dienen dem raschen Transport kleinerer Moleküle (→ erleichterter Stoffaustausch).

1.3.4.3 Die markhaltigen Nervenfasern im ZNS

Im Prinzip sind Markscheiden im ZNS wie die im PNS aufgebaut. Allerdings umhüllen die Markscheidenbildner im ZNS, die Oligodendrozyten, das Axon nicht mit ihrem Zellleib, sondern *ein* Oligodendrozyt umwickelt mit seinen Zellfortsätzen *mehrere* Axone. Die breitflächigen Endabschnitte der Zellfortsätze bilden die Wickelungen eines Internodiums. Ein Oligodendrozyt bildet folglich die Internodien von mehreren (bis zu 50) Axonen. Während die periphere Nervenfaser von einer durchgehenden Basallamina (von Schwann-Zellen gebildet) umgeben ist, besitzt die zentrale Faser keine Basallamina. Im ZNS sind Axone und Myelinscheiden dünner, und es fehlen Schmidt-Lantermann-Einkerbungen.

Klinischer Bezug

Multiple Sklerose = Enzephalomyelitis disseminata:

Bei dieser Erkrankung kommt es bedingt durch Autoimmunvorgänge (Immunreaktionen gegen körpereigenes Gewebe) zum Zerfall von zentralen Markscheiden (Demyelinisierung). Die Entmarkungsherde können daher überall auftreten, wo Fasern von Oligodendrozyten umgeben sind (End- und Kleinhirn, Hirnstamm, Rückenmark und Sehnerv, der – anders als die Hirnnerven III–XII von zentraler Glia umgeben ist, s. S. 249). Je nach Lokalisation kommt es zu unterschiedlichen Sym-

ptomen wie z. B. Sensibilitätsstörungen, motorischen Defiziten, Kleinhirnsymptomen (s. S. 119), Blasen- und Sexualitätsfunktionsstörungen sowie Sehstörungen (durch Schädigungen des N. opticus, s. S. 211 oder des Hirnstamms). In den multiplen Herden wuchern Astrozyten und bilden eine Faserглиose (daher der Name „Multiple Sklerose“). Meist verläuft die Erkrankung schubförmig mit vollständiger Erholung oder bleibender Restsymptomatik, wobei in den verschiedenen Schüben oft unterschiedliche Herdlokalisationen und somit unterschiedliche Symptome auftreten.

1.3.4.4 Die marklosen Nervenfasern

Bei marklosen Nervenfasern im PNS (s. auch C-Fasern, S. 208) liegen meist mehrere Axone in rinnenförmigen Vertiefungen einer Schwann-Zelle (Abb. 1.9). Die Schwann-Zelle wickelt sich nicht um das Axon; Mesaxone sind meist ausgebildet.

Die marklosen Nervenfasern im ZNS haben keine spezifische Hülle oder sie werden von Astrozytenfortsätzen zu Bündeln umfasst.

1.3.4.5 Die Regeneration peripherer Nervenfasern

Nach Durchtrennung eines peripheren Nervs kommt es zunächst zur sog. **Waller-Degeneration** distal der Läsion: Die beteiligten Nervenfasern

(Axone samt Myelin) zerfallen, die Schwann-Zellen werden dabei zwar geschädigt, sterben aber nicht ab. Die Axon- und Myelinreste werden durch eingewanderte Makrophagen abgeräumt.

Im Rahmen der anschließenden Regeneration proliferieren die vital gebliebenen Schwann-Zellen und lagern sich röhrenförmig zusammen. Vom proximalen Axonstumpf sprossen Fortsätze aus, von denen einer in die röhrenförmige Struktur einwächst während die übrigen Axonaussprossungen degenerieren.

1.3.5 Der periphere Nerv

Ein peripherer Nerv besteht aus Bündeln von Nervenfasern (Axon + Schwann-Zelle) und bindegewebigen Hüllstrukturen, die u.a. als mechanischer Schutz dienen. Man unterscheidet folgende Bindegewebshüllen:

- Das **Endoneurium** besteht aus lockerem Bindegewebe und umhüllt jede einzelne Nervenfaser. Als Endoneuralscheide bezeichnet man die Basalmembran der Schwann-Zelle und das Endoneurium.
- Das **Perineurium** (Perineuralscheide) fasst einige bis mehrere hundert Nervenfasern zu Bündeln (Faszikeln) zusammen. Es besteht aus mehreren Lamellen flacher Zellen, zwischen denen Kollagenfibrillen liegen. Diese Zellen werden auch als Perineuralepithelzellen bezeichnet und sind durch Tight junctions verbunden (→ Diffusionsbarriere gegenüber der Umgebung). Der vom Perineurium umschlossene Raum (zwischen Endo- und Perineurium) heißt **Endoneuralraum**. Die hier gelegenen Kapillaren besitzen Tight junctions zwischen ihren Endothelzellen (→ Blut-Nerven-Schranke). Manchmal wird auch das Perineurium mit zur Blut-Nerven-Schranke gerechnet, da Substanzen aus dem Blut nach der Kapillarwand auch diese Barriere überwinden müssen, um aus dem Endoneuralraum zu den Nervenfasern zu gelangen.
- Das **Epineurium** besteht aus lockerem Bindegewebe mit eingelagerten Fettzellen und größeren Blutgefäßen und fasst die Nervenfaserbündel zum Nerv zusammen. Es dient auch dem verschieblichen Einbau des Nervs in seine Umgebung.

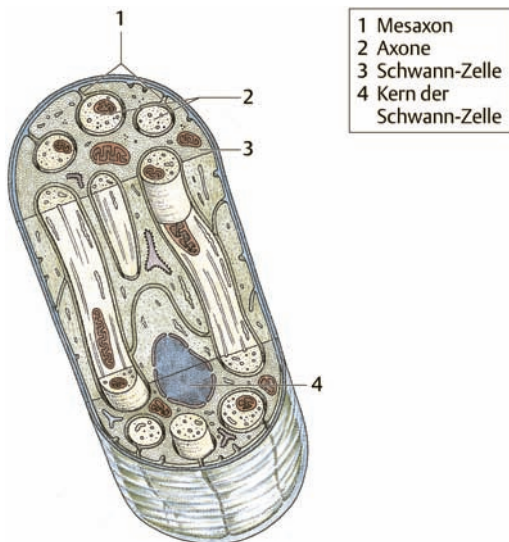


Abb. 1.9 Marklose Nervenfaser

In einem peripheren Nerven kommen meist markhaltige und marklose Nervenfasern vor. Funktionell sind die meisten Nerven gemischt, d.h. sie enthalten sowohl afferente als auch efferente Fasern. Es gibt aber auch rein motorische oder sensible bzw. sensorische Nerven.

MERKE

Ein peripherer Nerv besteht aus Bündeln verschiedener Nervenfasern und bindegewebigen Hüllstrukturen. Von diesen spielt das Perineurium eine besonders wichtige Rolle, da es das Milieu der Nervenfasern gegenüber der Umgebung abgrenzt.

Klinischer Bezug

Polyneuropathien: Bei einer Polyneuropathie handelt sich um eine meist bilaterale Erkrankung peripherer Nerven. Die Polyneuropathien sind auf sehr unterschiedliche pathogene Faktoren zurückzuführen. Häufige Ursachen sind Stoffwechselstörungen (wie Diabetes oder Gicht), exogen-toxische Einflüsse (wie Alkohol, Pharmaka oder Gifte), Gefäßerkrankungen oder Infektionskrankheiten (wie Lepra oder Fleckfieber). Es kann (je nach Typ) zu einer axonalen Degeneration, zu einer segmentalen Schädigung der Markscheiden (Demyelinisierung), zu Entzündungsreaktionen im Endo- und Perineurium oder auch zu kombinierten Schädigungsmustern kommen. Klinische Symptome sind insbesondere Parästhesien (Brennen oder Einschlafgefühl) und Sensibilitätsstörungen, meistens symmetrisch und distal betont (socken- und handschuhförmig), distal aufgehobener Vibrationssinn, Druckempfindlichkeit peripherer Nervenäste und Muskelatrophien.

1.3.6 Die Ganglien im PNS

1.3.6.1 Die sensiblen Ganglien

Zu den sensiblen Ganglien des PNS zählen Spinalganglien und sensible Hirnnervenganglien. Sie haben ähnliche Bindegewebshüllen wie der periphere Nerv: Unter einer Bindegewebkapsel liegt Perineurium. In den Ganglien liegen pseudounipolare Neurone. Der eine Ast (efferentes Axon) des sich T-förmig aufzweigenden Stammfortsatzes zieht ins ZNS,

der andere leitet afferente Informationen aus der Peripherie (s. S. 8).

Auffällig sind die großen rundlichen Perikarya der Ganglienzellen mit großem hellen Kern und dem deutlichen Nucleolus. Die Perikarya enthalten fein verteilte Nissl-Substanz sowie eventuell Lipofuszin und sind von Mantelzellen umgeben.

Es lassen sich zwei Typen von Perikarya unterscheiden:

- Die großen, hellen Zellkörper (**A-Zellen**) haben myelinisierte Fortsätze und dienen der Proprio- und Mechanorezeption.
- Die kleinen, dunkleren Zellkörper (**B-Zellen**) haben wenig myelinisierte oder marklose Fortsätze und dienen der Schmerzwahrnehmung.

MERKE

In Spinalganglien und den ihnen entsprechenden sensiblen Hirnnervenganglien findet keine Umschaltung statt!

1.3.6.2 Die vegetativen Ganglien

Die vegetativen Ganglien enthalten von Mantelzellen umgebene *multipolare* Nervenzellen. Charakteristisch für die vegetativen Ganglien ist, dass hier – neben oft zahlreichen hindurchziehenden afferenten und efferenten Nervenfasern – eine Umschaltung von efferenten präganglionären Fasern auf postganglionäre stattfindet. Entsprechend ihrer vorwiegenden funktionellen Bedeutung innerhalb des sympathischen oder parasympathischen Systems (s. S. 221) unterscheidet man:

- **sympathische** vegetative Ganglien: Grenzstrang- und prävertebrale Ganglien, s. S. 223 ff.
- **parasympathische** vegetative Ganglien: v.a. die als Kopfganglien bezeichneten zur Umschaltung parasympathischer Fasern der Hirnnerven III (Ggl. ciliare), VII (Ggl. pterygopalatinum und Ggl. submandibulare), IX (Ggl. oticum) sowie vorwiegend intramurale Ganglien zur Umschaltung von Fasern des X. Hirnnervs und des sakralen Parasympathikus.



Check-up

- ✓ Machen Sie sich klar, was ein Mesaxon ist (während der Myelinentwicklung und beim marklosen Nerv).
- ✓ Rekapitulieren Sie, was unter den Begriffen „Ranvier-Schnürring“, „Internodium“ und „Schmidt-Lantermann-Einkerbungen“ zu verstehen ist.
- ✓ Überlegen Sie noch einmal, welche Unterschiede zwischen myelinisierten und marklosen Nervenfasern bestehen.
- ✓ Verdeutlichen Sie sich nochmals die Unterschiede zwischen sensiblen und vegetativen Ganglien.

Kapitel 2



Entwicklung des Nervensystems

- 2.1 Der Überblick 21
- 2.2 Die Neurulation und die Neuralleiste 21
- 2.3 Die Entwicklung des Rückenmarks und der Spinalnervenwurzeln 23
- 2.4 Die Entwicklung des Gehirns 24

Kaffeeplecken



Café-au-Lait-Flecken sind ein charakteristisches Symptom bei Neurofibromatose.

Das Nervensystem und die Haut haben in der Embryogenese eine ganz wichtige Gemeinsamkeit: Beide entwickeln sich aus dem äußeren Keimblatt, dem Ektoderm. Die so genannten neurokutanen Erkrankungen spiegeln dieses Muster der Embryogenese wider. Bei der Neurofibromatose, der häufigsten neurokutanen Erkrankung, treten unter anderem gutartige Tumoren auf, die vom Bindegewebe der Hautnerven entspringen: die Neurofibrome.

Grausame Schulkameraden

„Schepp-Maul, Schepp-Maul!“ hört Martin die schrille Stimme seines Klassenkameraden Hans-Peter hinter sich rufen. Der Fünftklässler hält sich die Ohren zu. Seine Schulkameraden lachen ihn des Öfteren aus – wegen seines Gesichtes. Der 9-jährige hat einen Tumor in der Wange, der seine rechte Gesichtshälfte nach unten zieht. Was hinter dem Tumor steckt, will Martin niemandem in der Schule erzählen. Er denkt, dass es kaum jemand verstehen würde. Außerdem fürchtet er, noch mehr ausgelacht zu werden, wenn die Mitschüler um seine Krankheit wissen.

Café-au-Lait-Flecken

Seit einem Jahr weiß der 9-jährige, womit er sein Leben lang kämpfen muss.

Die Diagnose heißt Morbus Recklinghausen, anders Neurofibromatose genannt. Alles fing damit an, dass seine Mutter auf Hautverfärbungen aufmerksam geworden war, die er auf dem Rücken, am Hals und an den Armen hat. Sie sehen aus wie große Sommersprossen und stören ihn nicht weiter. Nur beim

Schulschwimmen hatte er sich schon immer ein bisschen dafür geschämt.

Blickdiagnose

„Wie lange hast du schon die hellbraunen Flecken auf dem Rücken und den Armen?“ fragte ihn der Kinderarzt, den er mit seiner Mutter aufsuchte. „Schon immer“, hatte er geantwortet. Heute kann sich Martin nur noch an Fetzen des Gesprächs erinnern, aber der Arzt hatte sich damals nach ähnlichen Hautveränderungen bei anderen Familienmitgliedern erkundigt und noch viele andere Fragen gestellt, zum Beispiel ob mit seinen Augen alles in Ordnung wäre, ob ein Tumor des Sehnervs bekannt wäre oder und ob er Dinge bei sich festgestellt hätte, die ihn stören. Martin weiß noch: Damals erzählte er dem Arzt, dass er sich manchmal fühlte, als hätte er zwei linke Hände, weil ihm Geschicklichkeitsübungen Probleme bereiteten, und dass er im Gegensatz zu seinen Mitschülern immer noch nicht Fahrrad ohne Stützen fahren könnte. Der Junge erinnert sich auch daran, wie seine Mutter in der Sprechstunde darüber klagte, dass er in der Schule so schlecht wäre.

Zahlreiche Untersuchungen

Nach dem Besuch beim Kinderarzt musste Martin viele Untersuchungen über sich ergehen lassen. Der Pädiater erklärte ihm damals die Neurofibromatose: eine erbliche Krankheit, die gutartige Geschwülste in den Nerven und in der Haut macht. Er ließ ein MRT-Bild vom Kopf und Röntgenbilder von Martins Knochen machen, weil er Veränderungen ausschließen wollte. Anschließend sollte der 10-jährige zum Augenarzt. Dieser wollte wissen, ob sich im Sehnerv ein Tumor befindet. Zum Glück fiel die Untersuchung unauffällig aus. Auch der neurologische Befund war normal. Schließlich suchte Martin den Hautarzt auf. Dieser fand in seiner Haut mehrere Knötchen und bestätigte die Diagnose des Pädiaters.

Chirurgische Therapie: gut

Der große Tumor, der Martins rechte Gesichtshälfte entstellte, wird schließlich operiert. Das plastische Ergebnis ist klasse: Das Gesicht des Jungen ist wieder symmetrisch. In der histopathologischen Untersuchung finden die Spezialisten ein plexiformes Neurofibrom. Es ist ein typischer Befund bei Morbus Recklinghausen.

2 Entwicklung des Nervensystems

2.1 Der Überblick

Das kompliziert aufgebaute ZNS entwickelt sich aus einer morphologisch relativ einfach geformten Anlage, dem **Neuralrohr**. Der vordere Anteil des Neuralrohrs wächst sehr schnell, wodurch es zur Formentwicklung des Gehirns (mit Bläschen und Abknickungen) kommt. Im Inneren des Rückenmarks und Gehirns sind (in Schnittpräparaten) Schichten/Zonen nachweisbar, die verschiedene entwicklungsgeschichtliche Prozesse widerspiegeln. Dazu gehören:

- **Proliferation** (Vermehrung von Nerven- und Gliavorläuferzellen)
- **Migration** (Wanderung von Vorläuferzellen zu ihren Zielgebieten)
- **Auswachsen** von Axonen in ihre Zielgebiete
- **Synapsenbildung**.

Im Zuge der Entwicklung entstehen aus dem Hohlraum des Neuralrohrs im Bereich der Hirnbläschen die **Ventrikel** I–IV, im Rückenmark der **Canalis centralis**.



Sehen Sie die komplizierten Entwicklungsvorgänge des Nervensystems nicht als „Ballast“ an, sondern nutzen Sie die in diesem Kapitel beschriebenen wesentlichen Grundlagen der Neuroembryologie als Lernhilfe. Sie ermöglichen es Ihnen, funktionelle und topographische Zusammenhänge der Neuroanatomie besser zu verstehen.

2.2 Die Neurulation und die Neuralleiste



Lerncoach

Machen Sie sich beim Lesen dieses Kapitels zunächst klar, dass sich das Nervensystem aus dem äußeren der drei embryonalen Keimblätter (Ektoderm) entwickelt. Aus ihm entstehen das Neuralrohr und die Neuralleiste. Beachten Sie die Sonderstellung der Neuralleiste, aus der sich sehr unterschiedliche Gewebe bilden.

Wenn Sie sich die Lagebeziehung des Ektoderms innerhalb der dreiblättrigen Keimscheibe vergegenwärtigen wollen, schlagen Sie in einem Embryologiebuch die Vorgänge während der dritten Entwicklungswoche nach.

2.2.1 Die Neurulation – Entstehung des Neuralrohrs

Das Ektoderm, das im Entwicklungsstadium der dreiblättrigen Keimscheibe neben Ento- und Mesoderm vorliegt, ist kein einheitliches Keimblatt (Abb. 2.1). Es gliedert sich zunächst vielmehr in:

- **Neuroektoderm** (mittlerer Abschnitt → ZNS) und
- **epitheliales Ektoderm** (→ Epidermis der Haut).

Klinischer Bezug

Phakomatosen: Unter diesem Begriff werden kongenitale Erkrankungen zusammengefasst, deren gemeinsames Merkmal Anomalien des Nervensystems und der Haut (neurokutane Syndrome, s. auch S. 20) sind. Vorwiegend werden sie autosomal dominant vererbt und gehen meist mit Tumoren oder tumorartigen Fehlbildungen des Nervensystems und der Haut einher. Zu den Phakomatosen gehören u. a.:

- **Tuberöse Sklerose:** Diese Erkrankung ist durch die Symptomtrias Epilepsie, geistige Behinderung und Adenoma sebaceum gekennzeichnet. Im Gehirn sind die tumorartigen Gliawucherungen (verkalkend) meist subependymal in der Wand der Seitenventrikel zu finden. Neben anderen Hauterscheinungen sind gutartige Gefäßtumoren (Angiofibrome) in der Haut v. a. als multiple kleine Papeln im Bereich der Nasolabialfalten (Adenoma sebaceum) sichtbar.
- **Neurofibromatose (Morbus Recklinghausen):** Die Haut zeigt Pigmentanomalien (hellbraune Café-au-lait-Flecken). Vom Bindegewebe der Hautnerven gehen multiple knotige, gutartige Tumoren aus (kutane Neurofibrome). Bei einer anderen Form der Erkrankung treten meist bilaterale Akustikusneurinome (s. S. 113) und Meningeome (von der Arachnoidea ausgehende gutartige Tumoren) auf.

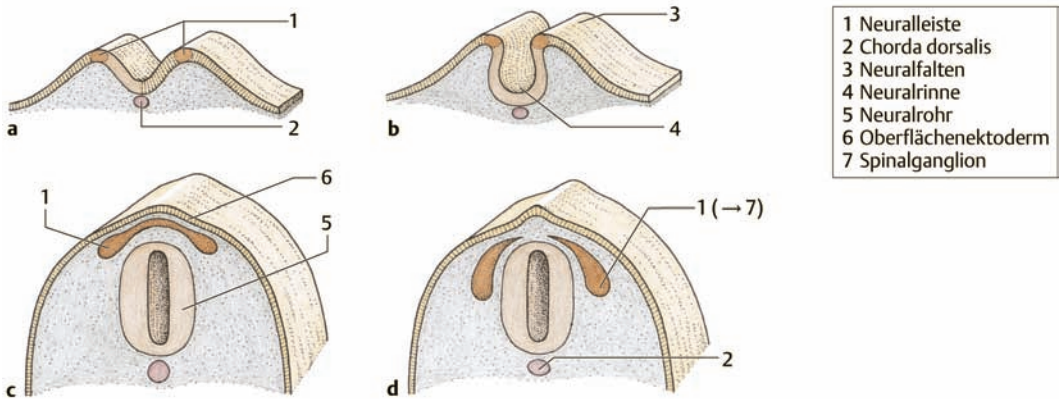


Abb. 2.1 Neurulation und Bildung der Neuralleisten
a 18. Tag, b 20. Tag, c 22. Tag, d 24. Tag

Die Entstehung des Neuroektoderms wird durch die darunter gelegene Chorda dorsalis induziert (über die Signalphosphopeptide Noggin und Chordin). Durch Proliferation der Neuroektodermzellen entsteht die **Neuralplatte** (aus mehrreihigem Neuroepithel). Die Neuralplatte vertieft sich zur **Neuralrinne**, an der sich lateral die beiden **Neuralwülste** (Neuralfalten) vorwölben, die schließlich in der Mitte verschmelzen. Der Verschluss beginnt auf Höhe des 4. Somiten und schreitet von dort nach kranial und kaudal fort. Diesen gesamten Vorgang bezeichnet man als **Neurulation**.

MERKE

Die Bildung der Neuralwülste und ihr Zusammenschluss zum Neuralrohr werden als Neurulation bezeichnet.

Gleichzeitig wird das Neuralrohr in die Tiefe verlagert und das epitheliale Ektoderm schließt sich über dem Neuralrohr.

Der Hohlraum des Neuralrohrs (Canalis neuralis) hat für kurze Zeit oben und unten eine Öffnung:

Neuroporus anterior (cranialis oder rostralis) und **Neuroporus posterior** (caudalis).

Diese Öffnungen stehen mit der Amnionhöhle in Verbindung. Der obere Neuroporus verschließt sich am 24./25. Tag, der untere am 26./27. Tag.

Klinischer Bezug

Anenzephalie: Kommt es zu einer Verschlussstörung des Neuralrohrs am oberen Pol, wo sich normaler Weise das Prosencephalon (s. u.) entwickelt, führt dies zur Anenzephalie. Hier fehlt das Schädeldach und in der vorderen und mittleren Schädelgrube ist kein normales Hirngewebe anzutreffen während Teile des Kleinhirns und des Hirnstamms manchmal vorhanden sind. Auffällig sind die „Froschaugen“ an der höchsten Stelle des Kopfes. Da Ungeborene mit Anenzephalie i.d.R. kein Fruchtwasser schlucken können, kommt es oft zum Hydramnion (erhöhte Fruchtwassermenge). Die Anenzephalie ist die schwerste aller Neuralrohrdefekte. Ihre Häufigkeit kann durch Folsäureeinnahme vor Eintritt und während des ersten Drittels einer Schwangerschaft gesenkt werden.

2.2.2 Die Neuralleiste

Bei der Verschmelzung der Neuralfalten verlieren die Ektodermzellen, die unmittelbar lateral der Falten liegen, ihren Kontakt zu den Nachbarzellen und ordnen sich zunächst zu einer flachen **Neuralleiste** zwischen Neuralrohr und epithelialem Ektoderm an (Abb. 2.1). Die Leiste trennt sich in rechten und linken Teil und differenzieren sich zu:

- Neuronen der Spinalganglien
- Neuronen der Ganglien des vegetativen Nervensystems (inkl. der parasympathischen Kopfganglien im Verlauf der Hirnnerven III, VII, IX und X)

- Schwann-Zellen
- Mantelzellen
- Nebennierenmarkszellen
- Melanozyten der Haut
- C-Zellen der Schilddrüse
- Mesenchymzellen des Kopfes (Kopfmesektoderm).



Check-up

- ✓ Rekapitulieren Sie, was die Neuralleiste ist und welche Strukturen sich aus ihr entwickeln.

2.3 Die Entwicklung des Rückenmarks und der Spinalnervenzurzeln



Lerncoach

Während der embryonalen Entwicklung wird durch Teilung und Wanderung von Vorläuferzellen im Neuralrohr eine bestimmte Anordnung von Neuronen angelegt. Prägen Sie sich dieses Anordnungsprinzip gut ein – da es im adulten Rückenmark und Hirnstamm beibehalten wird, kann es Ihnen in den weiteren Kapiteln das Verständnis erleichtern und als Gedächtnisstütze dienen.

Aus dem kaudalen Abschnitt des Neuralrohrs entsteht das Rückenmark. Im Neuroepithel (= **Neuroepithelschicht**, **Proliferations-** oder **Ventrikulärzone**) entstehen durch Proliferation immer mehr Neuroblasten. Nicht mehr teilungsfähige Proneurone wandern aus der Proliferationszone radial aus.

Die Migration (Wanderung) erfolgt entlang von spezialisierten Gliazellen, den **Radialgliazellen**, die schon vor den Proneuronen entstehen. Sie besitzen lange radiale Fortsätze. Die ausgewanderten Proneurone bilden um das Neuroepithel die **Mantelzone**, aus der die graue Substanz des Rückenmarks hervorgeht. Um die Mantelzone herum liegt die **Marginalzone** (Randschleier), die durch das Einwachsen von Axonen entsteht und der Vorläufer der weißen Substanz des Rückenmarks ist (Abb. 2.2 und Tab. 2.1).

Die Mantelzone nimmt durch ständig einwachsende Proneurone und durch Differenzierung der Neu-

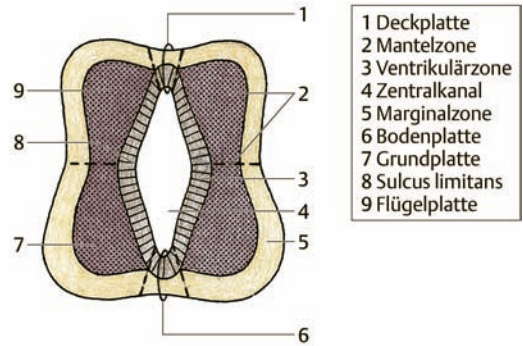


Abb. 2.2 Anlage des Rückenmarks im Querschnitt

rone an Dicke zu. In ihr erkennt man auf beiden Seiten je zwei Verdickungen:

- ventrolateral die Grundplatte
- dorsolateral die Flügelplatte.

Zwischen den beiden Platten liegt eine Furche, der **Sulcus limitans**.

In der **Grundplatte** entwickelt sich das motorische Vorderhorn (somatoefferent) und dahinter ein Teil des Seitenhorns, nämlich viszeroefferente Neurone (Grundplatte = somato-viszero-motorische Zone).

Die Axone dieser efferenten Neurone wachsen aus und bilden die **Vorderwurzel** der Spinalnerven.

Klinischer Bezug

Spinale Muskelatrophie (SMA): Diese neuromuskuläre Erkrankung führt zum Untergang von Motoneuronen im Vorderhorn. Bei der autosomal rezessiv vererbten Form liegt der genetische Defekt im „survival motor neuron (SMN) gene“ auf Chromosom 5. Nach Alter bei Krankheitsbeginn und Schweregrad werden verschiedene Typen unterschieden. Bei früher Manifestation der atrophischen Paresen (Lähmungen) wirken die betroffenen Kinder durch den herabgesetzten Muskeltonus insgesamt schlaff („floppy infants“). Eine wirksame Therapie ist nicht bekannt, die Prognose ist infaust.

Die **Flügelplatte** wird zum sensiblen Hinterhorn (somatoafferent), vor dem als Teil des Seitenhorns viszeroafferente Neurone liegen (Flügelplatte = somato-viszero-sensible Zone). Die afferenten Axone, die über die **Hinterwurzel** das Rückenmark erreichen, wachsen aus den Perikarya der unipolaren

Tabelle 2.1

Differenzierung des Rückenmarks	
Zellschichten im Neuralrohr	Strukturen im reifen Rückenmark
Ventrikulär-/Proliferationszone = Neuroepithelschicht	Ependym
Mantelzone – Grundplatte (ventro-lateral) – Flügelplatte (dorso-lateral)	graue Substanz – Vorderhorn somatomotorisch – Seitenhorn viszeromotorisch – Hinterhorn viszerosensibel somatosensibel
Marginalzone	weiße Substanz mit Vorder-, Seiten- und Hinterstrang sowie den Commissurae albae

Nervenzellen im jeweiligen Spinalganglions aus (Herkunft s.o.). In der Flügelplatte (Hinterhorn) kann dann eine Umschaltung auf das 2. Neuron erfolgen.

MERKE

Der Sulcus limitans ist die funktionelle Grenze, die somato- und viszerofferente Neurone der Grundplatte von somato- und viszeroafferenten Neuronen der Flügelplatte trennt.

Aus den Neuroepithelzellen der Ventrikulärzone werden die Ependymzellen; der Hohlraum an den sie grenzen, wird zum **Zentralkanal**.

Vor und hinter dem Zentralkanal liegen zwei dünne Wandabschnitte des Neuralrohrs:

- ventral die **Bodenplatte**
- dorsal die **Deckplatte**.

Diese beiden Platten bleiben im Wachstum stark zurück; später liegen hier vornehmlich Axone, die von einer Seite des Rückenmarks zur anderen kreuzen. Im Bereich des späteren Ventrikelsystems entwickeln sich aus den Neuroepithelzellen der Deckplatte auch die Plexus choroidei.

Im 2. Entwicklungsmonat füllt das Rückenmark den Wirbelkanal in seiner ganzen Länge aus. Dadurch verlaufen die Fasern, die in einen Rückenmarksabschnitt (Segment, s. S. 75) ein- und austreten horizontal zum jeweiligen Foramen intervertebrale.

Etwa ab dem 3. Entwicklungsmonat wächst die Wirbelsäule *schneller* als das Rückenmark. Dadurch verschiebt sich das „kürzere“ Rückenmark zuneh-

mend nach kranial: ein scheinbarer Aszensus des Rückenmarks. Der Conus medullaris als kaudales Ende des Rückenmarks steht bei der Geburt auf Höhe des dritten Lendenwirbels (beim Erwachsenen auf Höhe des zweiten Lendenwirbels). Die unteren (ein- und austretenden) Nervenfasern müssen folglich erst eine Strecke zwischen Rückenmark und ihrem jeweils zugehörigen Foramen intervertebrale im Wirbelkanal (innerhalb des Subarachnoidalraums, s. S. 169) zurücklegen. Diese Fasern werden in ihrer Gesamtheit als **Cauda equina** bezeichnet.

MERKE

Das Rückenmark ist der Teil des ZNS, in dem die Prozesse Proliferation und Migration am frühesten beendet werden. Es bleibt im Wachstum auch hinter dem der Wirbelsäule zurück, was dazu führt, dass v. a. die Nervenfasern kaudal gelegener Rückenmarkssegmente einen langen Verlauf im Subarachnoidalraum haben.



Check-up

- ✓ **Machen Sie sich nochmals klar, was der Sulcus limitans trennt.**
- ✓ **Wiederholen Sie anhand von Abbildung 2.2 und Tabelle 2.1 die embryologischen Begriffe, die bei der Entwicklung des Rückenmarks von Bedeutung sind.**

2.4 Die Entwicklung des Gehirns



Lerncoach

Die embryonalen Veränderungen des Neuralrohrs sind umso ausgeprägter, je weiter rostral die Abschnitte liegen. Dies führt dazu, dass sich die Hirnanlage schon früh von der des Rückenmarks unterscheidet. Durch die Entwicklung der Hirnbläschen werden bereits die Abschnitte angelegt, die auch im reifen Gehirn zu seiner Gliederung genutzt werden. Prägen Sie sich schon jetzt diese Abschnitte mit den zugehörigen Anteilen des Ventrikelsystems gut ein – dies hilft Ihnen, den Überblick zu bewahren, wenn Sie in den folgenden Kapiteln über den komplexen Aufbau des adulten Gehirns lesen.

2.4.1 Die Ausbildung der Form

2.4.1.1 Die Hirnbläschen

Schon in der 4. Woche sind im rostralen Abschnitt des Neuralrohrs drei hintereinander gelegene blasenförmige Auftreibungen zu erkennen: die **primären Hirnbläschen**. Ab der 5. Woche gehen aus den

primären Bläschen die **sekundären Hirnbläschen** hervor. Der Hohlraum des Neuralrohrs wird im Zuge der Bläschenbildungen zu den vier **Ventrikeln**. Tabelle 2.2 und Abbildung 2.3 fassen diese Entwicklungsprozesse mit den wichtigsten Hirnstrukturen, die aus den einzelnen Bläschen hervorgehen, zusammen.

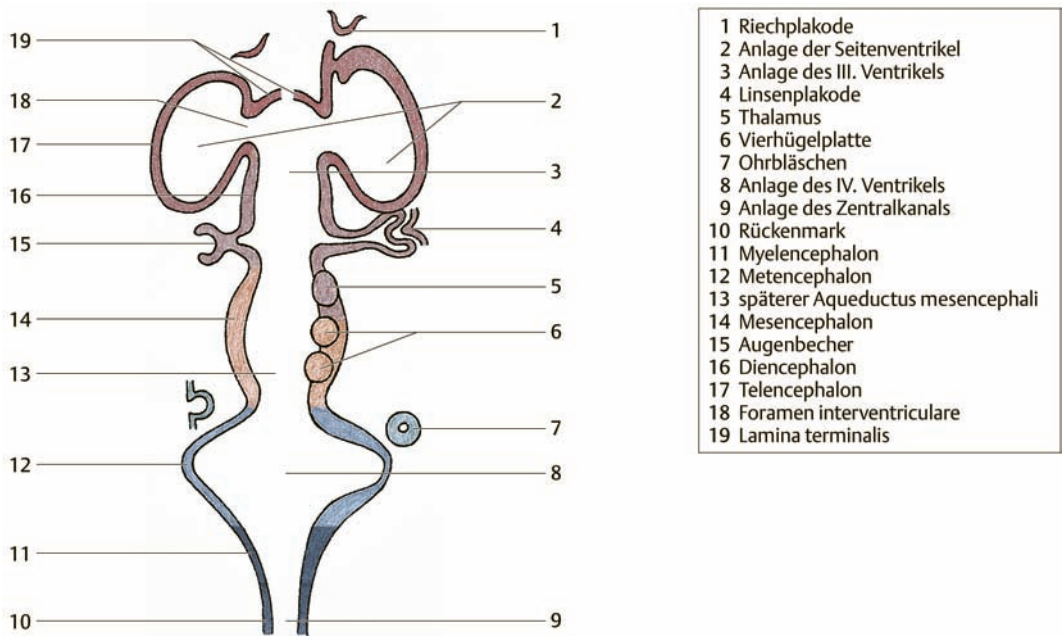


Abb. 2.3 Hirnbläschen
links: 6. Entwicklungswoche; rechts: 8. Entwicklungswoche

Differenzierung des Gehirns und der Ventrikel			
primäre Hirnbläschen	sekundäre Hirnbläschen	reife Hirnstrukturen	Ventrikelsystem
Prosencephalon- = Vorderhirnbläschen	2 seitliche Telencephalon- = Endhirnbläschen	Telencephalon = Endhirn mit 2 Hemisphären	I. und II. Ventrikel (Seitenventrikel)
	Diencephalon- = Zwischenhirnbläschen – wird von den Endhirnbläschen „überwachsen“ – bildet auf beiden Seiten ein Augenbläschen* aus	Diencephalon = Zwischenhirn	III. Ventrikel
Mesencephalon- = Mittelhirnbläschen	Mittelhirnbläschen (bleibt im Wachstum zurück)	Mesencephalon = Mittelhirn	Aqueductus mesencephali
Rhombencephalon- = Rautenhirnbläschen	Metencephalon- = Nachhirnbläschen	Pons = Brücke Cerebellum = Kleinhirn	IV. Ventrikel
	Myelencephalon- = Markhirnbläschen	Medulla oblongata = verlängertes Mark	

* Anlage von Nervus und Tractus opticus sowie der Retina

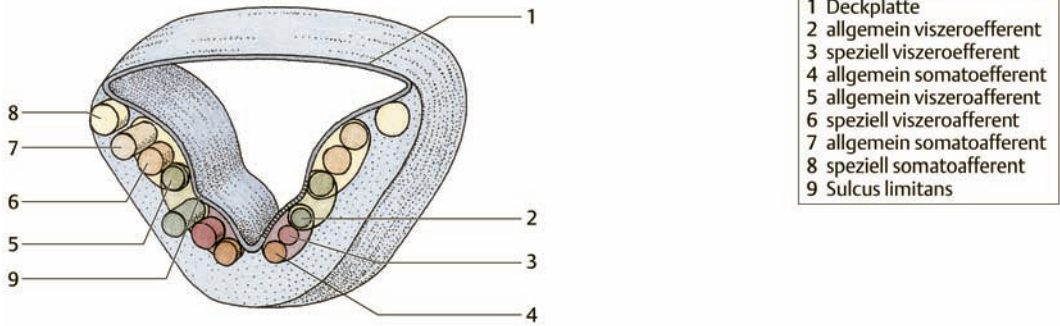


Abb. 2.4 Kernsäulen im Bereich des Rautenhirns

2.4.1.2 Die Krümmungen

Gleichzeitig mit der Bildung der primären Hirnbläschen beugt sich die Hirnanlage nach ventral; sodass zunächst folgende Krümmungen entstehen:

- **Nackenbeuge** (Flexura cervicalis, zwischen Rhombencephalon und Rückenmark)
- **Scheitelbeuge** (Mittelhirnbeuge, Flexura mesencephalica am Mittelhirn).

Später (mit der Ausbildung der sekundären Hirnbläschen, s. u.) krümmt sich das Rhombencephalon stark nach ventral; es entsteht die

- **Brückenbeuge** (Flexura pontina).

2.4.2 Die Entwicklung des Rautenhirns

Die prinzipielle Gliederung des Rückenmarks in Grund- und Flügelplatte setzt sich im Hirnstamm fort. Dabei unterscheiden sich die Lageverhältnisse innerhalb der Medulla oblongata und des Pons als ventrale Teile des Rhombencephalon von denjenigen im Mittelhirn. Erklärbar ist dieser Unterschied durch das Kleinhirn, das sich im dorsalen Teil des Rhombencephalon aus dem Metencephalon entwickelt.

2.4.2.1 Die Medulla oblongata und der Pons

Im Bereich des Rhombencephalon ist das Neuralrohr wie ein Buch aufgeklappt. Dadurch wird zum einen die Deckplatte lang gezogen (→ Velum medullare superius und inferius, s. S. 176).

Zum anderen liegt die Flügelplatte *lateral* von der Grundplatte und ist von ihr wie im Rückenmark durch den Sulcus limitans abgegrenzt. So entsteht auch die Rautengrube.

Zwischen der allgemein somato- und allgemein viszeroefferenten Kernsäule schiebt sich noch eine **speziell viszeroefferente Säule** in die Grundplatte. In der Flügelplatte differenziert sich zwischen der allgemein somato- und allgemein viszeroefferenten eine **speziell viszeroefferente Säule** sowie ganz lateral eine **speziell somatoefferente Säule** dazu (**Abb. 2.4**; s. a. S. 108).

Aus der Flügelplatte gehen noch die Zellen der Nuclei olivares inferiores hervor. Aus Zellen sowohl der Flügel- als auch der Grundplatte stammen die Neurone der Formatio reticularis.

2.4.2.2 Das Kleinhirn

Im Bereich des Metencephalon (= rostraler Anteil des Rhombencephalon) entstehen am Rand der Flügelplatte nahe der Grenze zur Deckplatte die Rautenlippen (etwa in der 6. Entwicklungswoche). Sie vergrößern sich beidseits zu den Kleinhirnwülsten, die zur Kleinhirnlplatte verschmelzen.

Die lateralen Anteile dieser Platte (→ Kleinhirnhemisphären) vergrößern sich stärker als der mittlere Abschnitt (→ Kleinhirnwurm, unpaar).

Bei der Histogenese des Kleinhirns gibt es zwei Besonderheiten:

- Proneurone wandern entlang der Fortsätze von Bergmann-Gliazellen, eine besondere Form der Radialglia.
- Die Neurone der Kleinhirnrinde (s. S. 120) stammen aus zwei Proliferationszonen.
 - Die Purkinje-Zellen entstehen direkt aus der primären Proliferationszone.

- Die Körperzellen entstammen der unter der Pia mater gelegenen sekundären Proliferationszone, in die mitoseaktive Vorläuferzellen aus der primären Proliferationszone einwandern. Die sekundäre Proliferationszone verschwindet erst im Laufe des zweiten Lebensjahres.

MERKE

Die Anlage des Kleinhirns liegt am rostralen Rand der Rautengrube. In der sich entwickelnden Kleinhirnrinde werden bis zum Ende des 2. Lebensjahres noch Proneurone durch Mitose gebildet.

2.4.3 Die Entwicklung des Mittelhirns

Im Bereich der Mittelhirnanlage erfolgt *kein* Aufklappen der Flügelplatten. Aus der Grundplatte entstehen die Kerne der Hirnnerven III und IV. Aus der Flügelplatte wandern Proneurone in das Gebiet der Deckplatte und bilden das Tectum mesencephali (Vierhügelplatte, Lamina tecti).

In die Marginalzone im Bereich der Grundplatten wandern zahlreiche Nervenfasern ein und bilden die (kräftigen) Crura cerebri.

Das Lumen des Mittelhirnbläschens wird zum Aqueductus mesencephali eingeengt, der den III. und IV. Ventrikel verbindet.

2.4.4 Die Entwicklung des Zwischenhirns und der Hypophyse**2.4.4.1 Die Kernkomplexe der Zwischenhirnanlage**

Das Zwischenhirnbläschen hat einen zunächst weiten Hohlraum, der schließlich zum spaltförmigen III. Ventrikel wird. In den Seitenwänden des Bläschens liegen die Anlagen der **Kernkomplexe** des Zwischenhirns (Etagen von oben nach unten):

- Epithalamus
- Thalamus
- Hypothalamus.

Diese Anlagen sind durch Sulci voneinander getrennt. Der Sulcus hypothalamicus (zwischen Thalamus und Hypothalamus) ist auch beim Erwachsenen noch sichtbar.

Aus dem Epithalamus entstehen die Habenulae und die Epiphyse (Glandula pinealis).

MERKE

Die Epiphyse hat sich aus einem Photorezeptororgan entwickelt, das im Laufe der Evolution modifiziert wurde (s. auch Lehrbücher der Histologie).

Eine Bodenplatte ist in der Zwischenhirnanlage nicht ausgebildet, jedoch eine Deckplatte, aus der sich der Plexus choroideus des III. Ventrikels entwickelt.

Die Differenzierung des Diencephalon erfolgt deutlich früher als die des Endhirns.

Lateral an der Zwischenhirnanlage entstehen am Ende der 4. Woche die beiden Augenbläschen, die sich zum doppelwandigen Augenbecher umformen. Die **Augenbläschen** (→ Retina) sind mit dem Diencephalon über den **Augenbecherstiel** (→ Nervus und Tractus opticus) verbunden.

2.4.4.2 Die Hypophyse

Die Hypophyse, eine endokrine Drüse, besteht aus zwei funktionell unterschiedlichen Anteilen: Neuro- und Adenohypophyse.

Entwicklungsgeschichtlich ist nur die **Neurohypophyse** als Teil des Zwischenhirns anzusehen: Sie entsteht als Ausbuchtung im Boden des III. Ventrikels (Recessus infundibularis).

Die **Adenohypophyse** hingegen entsteht als eine Epithelausstülpung (**Rathke-Tasche**) im Dach der Mundbucht (Stomatodeum). Die Rathke-Tasche entfernt sich von der Mundbucht, wobei der zunächst vorhandene epitheliale Verbindungsstrang zwischen beiden Strukturen verloren geht. Sie erreicht den Boden des Zwischenhirns, wo die beiden Anlagen der Adeno- und Neurohypophyse verschmelzen (**Abb. 2.5**).

2.4.5 Die Entwicklung des Endhirns

Die Hemisphärenbläschen zeigen eine erhebliche Entfaltung. Dadurch wird das Erscheinungsbild des sich entwickelnden und auch des adulten Gehirns geprägt. Das Zwischenhirn und die Lamina terminalis (= unpaarer mittlerer Teil des Telencephalon) werden durch die Hemisphärenbläschen überlagert und nach innen verlagert.

Die Hemisphären dehnen sich nach frontal, okzipital und temporal, jedoch kaum nach lateral aus. Dadurch entsteht die Fossa lateralis über der späte-

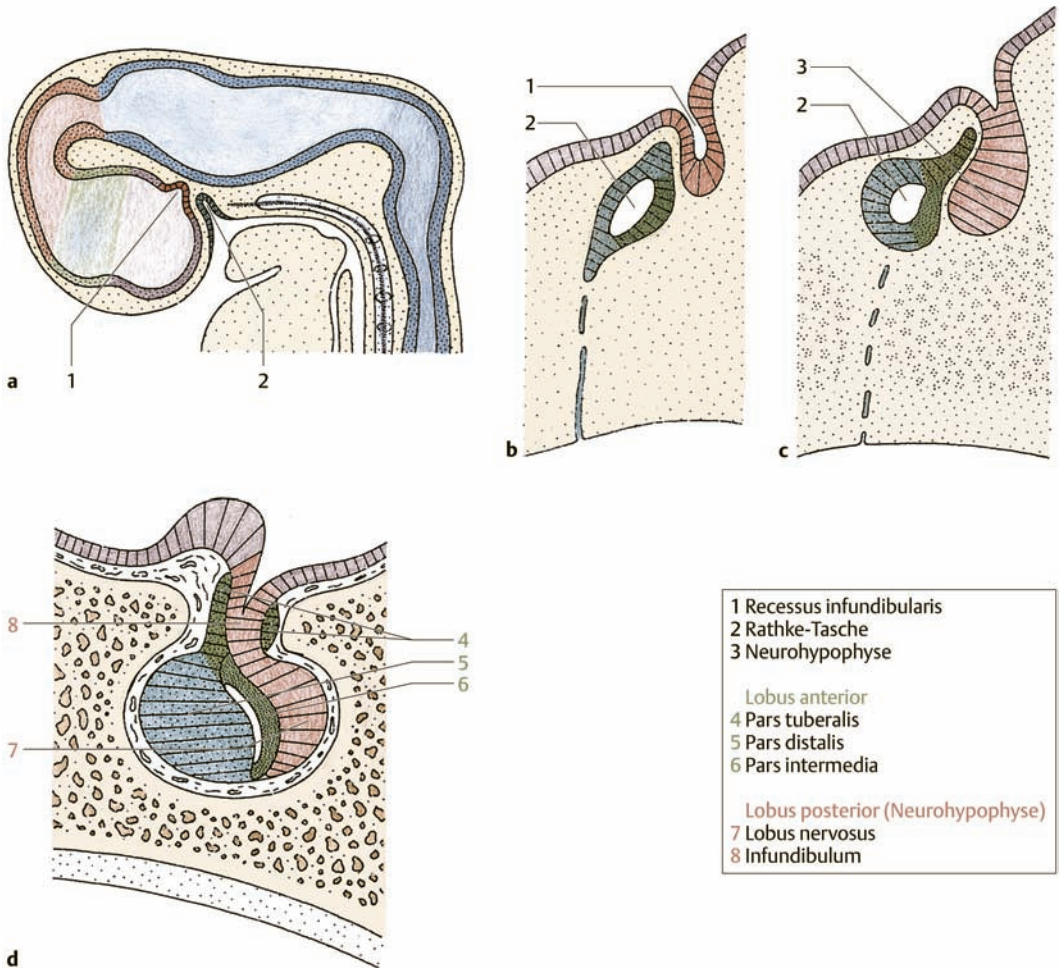


Abb. 2.5 Entwicklung der Hypophyse
a 6. Woche; **b** 8. Woche; **c** 11. Woche; **d** 18. Woche

ren Insel. Im Rahmen der **Hemisphärenexpansion** erfolgt zudem eine **Rotation** um eine Achse, die etwa transversal durch die Insel verläuft. Die Insel wird dann durch auswachsende Teile (Opercula) des Frontal-, Parietal- und Temporallappens überdeckt (**Operkularisation**), sodass aus der Fossa lateralis der Sulcus lateralis (Sylvii) entsteht. Anschließend bilden sich weitere Primärfurchen und Gyri aus. Die Gyrfizierung beginnt dort, wo sich die primären Areale (für Motorik, Sensibilität, Sehen, Hören) befinden, also u.a.:

- Sulcus centralis mit Gyrus precentralis (→ Motorik) und Gyrus postcentralis (→ Sensibilität)

- Sulcus calcarinus mit Area striata (→ Sehen) und Sulcus parietooccipitalis
- Gyri transversi am Gyrus temporalis superior (unter dem Sulcus lateralis; → Hören).

Zum Ende der Schwangerschaft entstehen Sekundär- und Tertiärfurchen, die individuelle Unterschiede zeigen.

Im Inneren des Endhirns entstehen subkortikale Kerne (z.B. Nucleus caudatus, Putamen, Amygdala) aus dem **Ganglienhügel**, eine prominente Verdickung der telencephalen Proliferationszone (in der Wand der Seitenventrikel, grenzt an das Zwischenhirn).

Nucleus caudatus und Putamen gehören zu den sog. Basalganglien (motorisches System).

Wenn sich die Hemisphären nach frontal, okzipital und temporal ausdehnen, folgen auf beiden Seiten jeweils der Seitenventrikel und – in seiner lateralen Wand gelegen – der Nucleus caudatus dieser Expansionsbewegung. Dadurch werden Vorder-, Hinter- und Unterhorn der Seitenventrikel erkennbar. Auch die Anlage des Nucleus caudatus erfährt dabei eine Formveränderung, sodass er im adulten Gehirn etwa eine C-förmige Gestalt aufweist.

MERKE

Durch die Ausdehnung und Rotation der Hemisphären sind im adulten Gehirn sowohl Vorder- und Unterhorn der Seitenventrikel als auch der Nucleus caudatus bogen- bzw. C-förmig.

Während der Fetalentwicklung entstehen auch die großen **Faserbahnen** (s. S. 161):

- Projektionsbahnen: z.B. Capsula interna mit Faserbahnen aus der Endhirnrinde (Pyramidenbahn), die Nucleus caudatus und Putamen auseinander drängen
- Kommissurenbahnen: aus der Kommissurenplatte an der Lamina terminalis, z.B. Commissura anterior und Corpus callosum (Balken).

Die Assoziationsbahnen entstehen zu unterschiedlichen Zeitpunkten (z.T. erst postnatal).

Klinischer Bezug

Periventrikuläre Leukomalazie: Die periventrikuläre Leukomalazie ist eine häufige Form der Hirnschädigung bei Frühgeborenen. Ursächlich ist eine Ischämie (Sauerstoff-Minderversorgung). Es kommt dabei zur Schädigung der ventrikelnah gelegenen (= periventrikulären) Fasern der Pyramidenbahn für die Beine. Das in der Regel beidseitige Auftreten erklärt, dass die periventrikuläre Leukomalazie meist zu einer spastischen Lähmung beider Beine führt (Diplegie).



Check-up

- ✓ **Wiederholen Sie, wie die Hypophyse entsteht.**
- ✓ **Machen Sie sich nochmals klar, welche Form- und Lageveränderungen durch das starke Wachstum der telenzephalen Hemisphären bedingt sind. Beachten Sie dabei auch die Verlagerung der Lamina terminalis.**

Kapitel 3



Peripheres Nervensystem

- 3.1 Der Überblick 33
- 3.2 Die Spinalnerven und ihre Äste 33
- 3.3 Der Plexus cervicalis 37
- 3.4 Der Plexus brachialis 39
- 3.5 Der Plexus lumbosacralis 48
- 3.6 Die Hirnnerven 57

Andenken aus dem Urlaub



Beim Zeckenstich ist u.a. die Übertragung von Borrelien möglich, die als Krankheitserreger zu den hier geschilderten Symptomen führen können.

Es gibt zwölf Hirnnerven. Manche von ihnen werden von Lähmungen häufiger betroffen als andere. Der siebte Hirnnerv, Nervus facialis, wird durch seinen anatomischen Verlauf bei vielen Erkrankungen in Mitleidenschaft gezogen. Schädelbasisbrüche, Mittelohr- und Innenohrerkrankungen sowie lokale Entzündungen – etwa im Rahmen einer Neuroborreliose – können zu seiner Schädigung führen.

Gelähmte Gesichtshälfte

Klack, klack, klick, klack – die Absätze von Frau U. erzeugen ein hallendes Geräusch in dem leeren Gang, wo die junge Bankkauffrau auf ihr Vorstellungsgespräch wartet. Als sie einen letzten Blick in den Spiegel wirft, um den Lippenstift zu kontrollieren, ist sie verblüfft: Ihr linker Mundwinkel hängt herunter! Probeweise lächelt die 24-Jährige ihrem Ebenbild zu und lässt einen lauten Schrei los: „Aaaaahhhh, mein Mundwinkel bewegt sich nicht!“ Auch das linke Auge kann sie nicht so gut wie das rechte schließen. Trotz ihrer Ratlosigkeit bewahrt die junge Frau einen kühlen Kopf und versucht, während des Vorstellungsgesprächs nicht an ihr Gesicht zu denken. Anschließend steigt sie sofort in ein Taxi und fährt ins Krankenhaus.

Mehrere Hirnnerven geschädigt

In der Notaufnahme stellt der Neurologe Dr. Funke bei der Untersuchung eine Schädigung mehrerer Hirnnerven fest: Neben den von der Patientin bereits bemerkten Ausfällen ist auch der Blick mit dem lin-

ken Auge nach links eingeschränkt. Um einen Prozess im Hirnstamm mit Schädigung der dort liegenden Hirnnervenkerne auszuschließen, lässt der Mediziner ein zerebrales MRT der Patientin anfertigen. Nach deren kann er beruhigt sein: Er findet keine Zeichen für eine Durchblutungsstörung oder andere Pathologien im Hirnstamm. Inzwischen konnte der Arzt herausfinden, dass Helena U. ein paar Wochen zuvor im Schwarzwald wandern war. Kurz nach ihrer Rückkehr aus dem Urlaub sei ein Ausschlag auf ihrem rechten Oberschenkel aufgetreten. „Die Hautverfärbung war schnell wieder verschwunden. Ich habe mir keine Gedanken darüber gemacht“, erzählt die junge Frau.

Antikörper im Liquor

Dr. Funke hat jetzt einen starken Verdacht auf Neuroborreliose, eine durch Zecken übertragbare Infektion. „Hatten Sie in letzter Zeit Schmerzen?“, vervollständigt er die Anamnese. Darauf antwortet Helena U., dass sie vor zwei Wochen ziehende Schmerzen im Gesäß hatte, die in das linke Bein ausstrahlten und sie vor allem nachts geplagt hatten. Die Beschwerden seien nach drei Tagen wieder verschwunden gewesen. „Auch diese Schmerzen passen zur Neuroborreliose“, denkt der Mediziner. Dann legt er der Frau einen intravenösen Zugang, nimmt Blut ab und führt eine Liquorpunktion durch. Anschließend beginnt er die i.v.-Therapie mit einem gegen Borrelien wirksamen Antibiotikum.

Als er am nächsten Tag den Liquorbefund in der Hand hält, freut sich Dr. Funke, dass er sofort mit der antibiotischen Therapie angefangen hatte: Neben einer Zellzahlvermehrung als unspezifisches Entzündungszeichen zeigt der Befund nachgewiesene IgM-Antikörper gegen Borrelien, die im Liquor gegenüber denen im Serum überproportional erhöht sind (intrathekale Synthese). Jetzt ist der Verdacht bestätigt: Die Patientin leidet an einer Neuroborreliose mit Beteiligung der Hirnnerven N. facialis und N. abducens. „Sie wurden beim Wandern vermutlich von einer Zecke gestochen, die mit dem Bakterium *Borrelia burgdorferi* infiziert war“, erklärt der Arzt der Bankkauffrau.

Nach vierzehn Tagen antibiotischer Therapie kann sich Helena U. gleich zweimal freuen: Die Nervenlähmungen sind deutlich besser geworden. Außerdem hat es mit der Arbeitsstelle in Berlin geklappt – trotz des herabhängenden Mundwinkels beim Vorstellungsgespräch.

3 Peripheres Nervensystem

3.1 Der Überblick

Zum peripheren Nervensystem gehören (Tab. 3.1):

- **Spinalnerven (Nn. spinales):** insgesamt 31–33 Nervenpaare mit Verbindung zum Rückenmark und
- **Hirnnerven (Nn. craniales):** insgesamt 12 Nervenpaare, die von rostral nach kaudal mit römischen Ziffern durchnummeriert werden, wobei jedoch lediglich mit dem Hirnstamm in Verbindung stehenden Hirnnerven III–XII tatsächlich periphere Nerven sind, während die ersten beiden Hirnnerven als entwicklungsgeschichtliche Ausstülpungen des End- bzw. Zwischenhirns und damit als Teile des ZNS angesehen werden.

3.2 Die Spinalnerven und ihre Äste



Lerncoach

Differenzieren Sie beim Lesen des folgenden Abschnitts sorgfältig zwischen Radix (Wurzel) und Ramus (Ast) anterior bzw. posterior. Achten Sie dabei darauf, dass diese beiden ähnlichen Begriffspaare sehr unterschiedliche Strukturen beschreiben.

3.2.1 Die Entstehung des Spinalnervs

Die Rückenmarksnerven (Spinalnerven = Nn. spinales) entstehen durch Bündelung von Nervenfasern, die jeweils einem bestimmten Rückenmarkssegment (s. S. 75) zugeordnet sind. Sie entstehen durch Vereinigung der **Fila radicularia**, die das Rückenmark als motorische vordere Wurzel (**Radix anterior**) verlassen (Efferenzen) und als sensible hintere Wurzel (**Radix posterior**) in das Rückenmark eintreten (Afferenzen). Durch Vereinigung der Fasern beider Wurzeln einer Seite entsteht im Foramen intervertebrale jeweils ein **gemischter** Spinalnerv (Abb. 3.1, Ausnahme: C1, s. u.).

Kurz vor seiner Bildung sind die Perikarya der sensiblen pseudounipolaren Neurone im Verlauf der Hinterwurzel als **Spinalganglion** zusammengelagert. Da jeweils ein Spinalnervenpaar mit einem Rückenmarkssegment in Verbindung steht, gibt es insgesamt 31–33 Spinalnervenpaare, die mit Ausnahme des 1. Zervikalnervs immer **unterhalb** des zugehörigen Wirbelkörpers austreten:

- 8 Zervikalnervenpaare
- 12 Thorakalnervenpaare
- 5 Lumbalnervenpaare
- 5 Sakralnervenpaare
- 1–3 Kokzygealnervenpaare.

3.2.2 Die Äste des Spinalnervs

Jeder einzelne Spinalnerv (auch Spinalnervstamm genannt) verzweigt sich nach kurzem gemeinsamem Verlauf der Fasern in folgende Äste (Abb. 3.1):

Tabelle 3.1

Spinal- und Hirnnerven im Vergleich		
	Spinalnerven	Hirnnerven
Anordnung	– segmental (Zuordnung zu Rückenmarkssegmenten) – 2 Wurzeln: efferente Vorder- und afferente Hinterwurzel	– nicht segmental – jeweils nur eine Ein- bzw. Austrittsstelle am Gehirn
Faserqualitäten	– insgesamt 4: efferent (Perikaryen im Vorderhorn des Rückenmarks, S. 78): – allgemeine Somatoefferenzen (zur Skelettmuskulatur) – allgemeine Viszeroefferenzen (zu glatter Muskulatur, Herzmuskulatur, Drüsen) afferent (Perikaryen im Spinalganglion) – allgemeine Somatoafferenzen (aus Haut und Bewegungsapparat) – allgemeine Viszeroafferenzen (aus inneren Organen) – Zusammensetzung (mit Ausnahme der vegetativen Fasern) ähnlich	– insgesamt 7, entsprechend den Kerngruppen (durch branchiogene Nerven und spezifische Sinnesorgane erweitert; s. S. 57) – Zusammensetzung sehr heterogen
Ganglien	– sensible Ganglien (Spinalganglien) – vegetative Ganglien (s. S. 17)	– sensible/sensorische Ganglien – Kopfganglien (nur parasymphatisch!, s. S. 57)

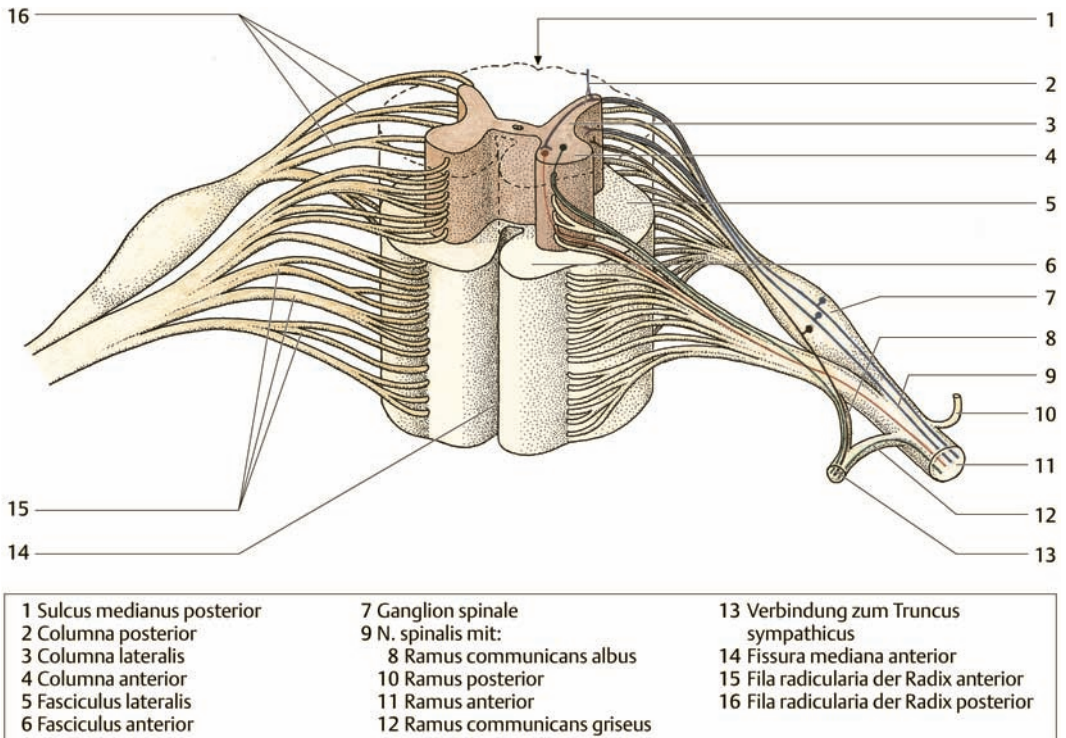


Abb. 3.1 Dreidimensionale Darstellung eines thorakalen Rückenmarkssegments mit Bildung des Spinalnervs aus Vorder- und Hinterwurzel sowie Aufteilung in seine Äste (R. meningeus nicht dargestellt)
Die Farben der Fasern deuten die unterschiedlichen Qualitäten an: rot = somatoefferent, grün = viszeroefferent (sympathisch), blau = somatoafferent, braun = viszeroafferent.

- **Ramus anterior** (besonders dick): Lediglich die 12 thorakalen Rami anteriores bilden jeweils einen eigenständigen Nerv: Diese 11 Nn. intercostales und der ihnen entsprechende N. subcostalis innervieren segmental über Haut- und Muskeläste die ventrolaterale Rumpfwand. Die übrigen Rami anteriores bilden Nervenplexus (s.u.).
- **Ramus posterior**: Er teilt sich in jeweils einen Ramus medialis und Ramus lateralis auf und versorgt segmental die autochthonen Rückenmuskeln sowie die Rücken- und Nackenhaut. Im oberen Zervikal- und Lumbosakralbereich haben die Rr. posteriores eigene Namen:
 - **N. suboccipitalis** (aus C1, rein motorisch): liegt im Trigonum suboccipitale und innerviert die kurzen Nackenmuskeln (Mm. rectus capitis posterior major und minor, Mm. obliquus capitis superior und inferior) sowie die Mm. longissimus capitis und semispinalis capitis
 - **N. occipitalis major** (aus C2): durchbohrt die Mm. semispinalis capitis und trapezius und innerviert sensibel den Hinterkopf bis zum Scheitel
 - **N. occipitalis tertius** (aus C3): versorgt sensibel das Hautareal, das sich nahe der Medianlinie an das vom N. occipitalis major innervierte anschließt und anastomosiert mit Letzterem
 - **Nn. clunium superiores** (lumbal) und **medii** (sakral).
- **Ramus meningeus** (R. recurrens): Dieser relativ dünne Ast zieht durch das Foramen intervertebrale zurück in den Wirbelkanal, wo er die Rückenmarkshäute versorgt.
- **Rami communicantes albus** (nur auf den Höhen C8–L2) und **griseus**: Sie werden von sympathischen Fasern gebildet, die zwischen Spinalnerv und sympathischem Grenzstrang verlaufen. Die präganglionären (= ersten) Neurone des Sympa-

thikus liegen im thorakalen und lumbalen Rückenmark (s. S. 78 und 223). Ihre Axone verlassen das Rückenmark zusammen mit den somatoafferenten Fasern über die Radix anterior und verlaufen ein kurzes Stück (ca. 1 cm) im Spinalnerv. Letzteren verlassen die schwach myelinisierten sympathischen Fasern im **Ramus communicans albus**, über den sie zu einem Ganglion des Truncus sympathicus (S. 223) gelangen. Hier wird ein Teil der Axone auf das postganglionäre (= zweite) Neuron umgeschaltet. Diese postganglionären marklosen Axone ziehen z. T. über den **Ramus communicans griseus** zurück zum Spinalnerv, über dessen andere Äste sie ihre Erfolgsorgane (Blutgefäße, Schweißdrüsen, Mm. arrectores pilorum) erreichen. Zum Verlauf der übrigen, ebenfalls in einem Grenzstrangganglion oder an anderer Stelle umgeschalteten Sympathikusfasern siehe S. 223 ff.

3.2.3 Die Dermatome und Hautnervenareale

Die sensiblen Fasern einer Hinterwurzel (Radix posterior), die einem Rückenmarksegment zugeordnet sind, versorgen jeweils ein bestimmtes, meist streifenförmiges Hautareal (**Dermatom**). Dabei verlaufen sie über die im Rumpfbereich segmentalen Rami anterior und posterior eines Spinalnervs. Im **Rumpfbereich** sind also Dermatom und sensibles Innervationsgebiet eines peripheren Nervs identisch.

Bei den Rami anteriores zur Versorgung der *Extremitäten* kommt es zur Plexusbildung (s.u.): Dadurch werden die sensiblen Fasern einer Hinterwurzel auf verschiedene periphere Nerven verteilt. Trotz dieser Verteilung auf verschiedene Nerven ziehen die sensiblen Fasern einer Hinterwurzel zu dem zugehörigen Dermatom. Da jeder periphere Nerv, der aus einem Plexus hervorgeht, sensible Fasern aus mehreren Hinterwurzeln führt, unterscheidet sich sein sensibles Versorgungsgebiet stark von den Dermatomen.

MERKE

Ein streifenförmiges Dermatom wird durch Fasern einer bestimmten Hinterwurzel (Radix posterior) aus einem definierten Rückenmarksegment sensibel versorgt (radikuläre oder segmentale Innervation, Abb. 3.2a). Sie entspricht mit Ausnahme des Rumpfbereichs *nicht* der Innervation durch Hautäste peripherer Nerven (Abb. 3.2b)!

Die Dermatome im Rumpfbereich sind regelmäßig (parallele Streifen), die übrigen mehr oder weniger unregelmäßig angeordnet. Benachbarte Dermatome überlappen sich beträchtlich, d.h. jedes Dermatom wird meist durch Fasern aus drei Segmenten innerviert.

Klinischer Bezug

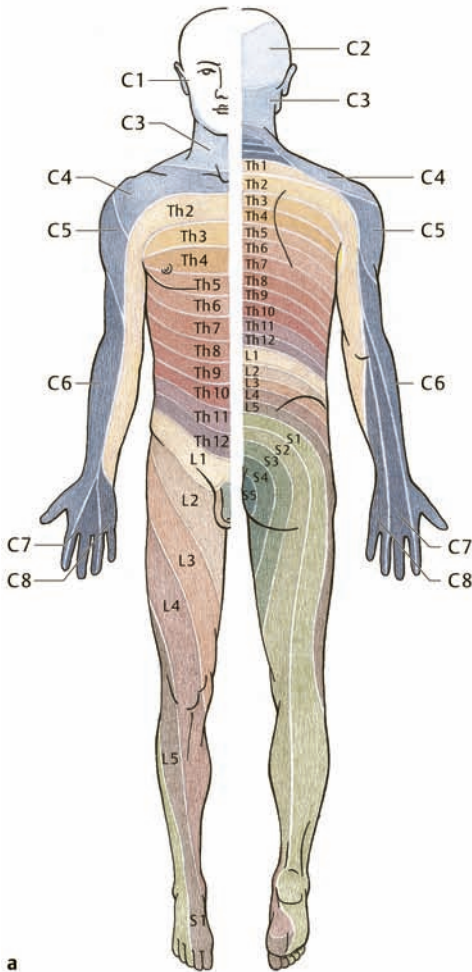
Radikuläre Symptome: Durch die Überlappung von Dermatomen ist zu erklären, dass es bei Verletzung einer Hinterwurzel im zugehörigen Dermatom nicht zu einem kompletten Sensibilitätsausfall (**Anästhesie**) kommt, sondern lediglich zu einer verringerten Empfindlichkeit (**Hypästhesie**) oder einer verringerten räumlichen Reizdiskrimination. Auch Missempfindungen (**Parästhesien**) bis hin zu Schmerzen können im betreffenden Hautbereich auftreten.

Ist die Vorderwurzel geschädigt, kann dies zu motorischen Ausfällen (**Paresen**) führen, die (aufgrund der überwiegend plurisegmentalen Muskelinnervation, s. S. 77) auch z. T. kompensiert werden. Eine Schädigung von Hinter- und Vorderwurzel bedingt das gemeinsame Auftreten sensibler und motorischer Ausfälle, die durch Fasern von Neuronen des gleichen Rückenmarksegments innerviert werden (segmentale = radikuläre Beschwerden). Die häufigste Ursache für radikuläre Symptome ist ein Bandscheibenvorfall (s. S. 77).

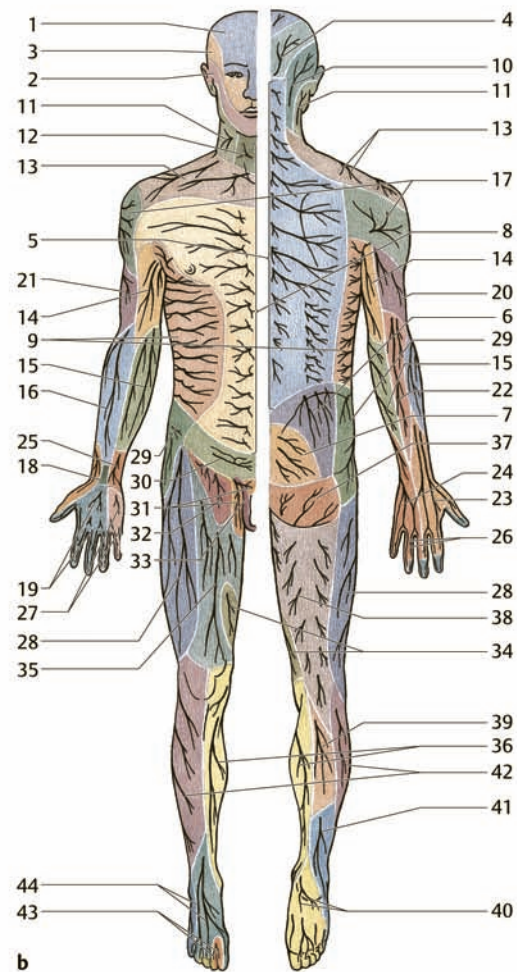
3.2.4 Die Plexusbildung

Die Rami anteriores bilden – mit Ausnahme derjenigen, die thorakalen Ursprungs sind – Nervengeflechte. In diesen **Plexus** vermischen sich Fasern aus *unterschiedlichen Rückenmarksegmenten*:

- Plexus cervicalis (C1–C4) → Innervation von Hals und Teilen des Kopfes, Zwerchfell und z.T. serösen Häuten der Brust- sowie Bauchhöhle



a



b

Äste des N. trigeminus (V):

- 1 N. ophthalmicus (V1)
- 2 N. mandibularis (V3)
- 3 N. maxillaris (V2)

Hautnerven aus dorsalen Spinalnervenästen:

- 4 N. occipitalis major (aus C2)
- 5 Rr. posteriores nervi spinales (aus Th1 – Th12 und angrenzenden Zervikalsegmenten)
- 6 Nn. clunium superiores (aus L1 – L3)
- 7 Nn. clunium medii (aus S1 – S3)

Hautnerven aus ventralen Spinalnervenästen bzw. Plexus:

- 8 Rr. cutanei anteriores nervi intercostalium
- 9 Rr. cutanei laterales nervi intercostalium

Plexus cervicalis:

- 10 N. occipitalis minor
- 11 N. auricularis magnus
- 12 N. transversus colli
- 13 Nn. supraclaviculares

Plexus brachialis:

direkte Hautäste aus dem Plexus:

- 14 N. cutaneus brachii medialis
- 15 N. cutaneus antebrachii medialis

aus dem N. musculocutaneus:

- 16 N. cutaneus antebrachii lateralis

aus dem N. axillaris:

- 17 N. cutaneus brachii lateralis superior

aus dem N. medianus:

- 18 R. palmaris
- 19 Nn. digitales palmares communes und proprii

aus dem N. radialis:

- 20 N. cutaneus brachii posterior
- 21 N. cutaneus brachii lateralis inferior
- 22 N. cutaneus antebrachii posterior
- 23 R. superficialis

aus dem N. ulnaris:
 24 R. dorsalis
 25 R. palmaris
 26 Rr. digitales dorsales
 27 Nn. digitales palmares communes und proprii

Plexus lumbosacralis:

direkter Hautast aus dem Plexus:
 28 N. cutaneus femoris lateralis

aus dem N. iliohypogastricus:
 29 R. lateralis
 30 R. medialis

aus dem N. ilioinguinalis:
 31 Nn. scrotales anteriores

aus dem N. genitofemoralis:
 32 R. femoralis
 33 R. genitalis

aus dem N. obturatorius:
 34 R. cutaneus

aus dem N. femoralis:
 35 Rr. cutanei anteriores
 36 N. saphenus

aus dem N. cutaneus femoris posterior:
 37 Nn. clunium inferiores
 38 Endäste des N. cutaneus femoris posterior

aus dem N. tibialis:
 39 N. cutaneus surae medialis
 40 Nn. plantares medialis und lateralis

aus den Nn. tibialis und fibularis communis:
 41 N. suralis

aus dem N. fibularis communis:
 42 N. cutaneus surae lateralis

aus dem N. fibularis profundus:
 43 Nn. digitales dorsales pedis

aus dem N. fibularis superficialis:
 44 Nn. cutanei dorsales intermedius und medialis

Abb. 3.2 Hautinnervation

a Dermatome (segmentales oder radikuläres Innervationsmuster)

b Versorgungsgebiete peripherer Nerven

- Plexus brachialis (C5–Th1) → Innervation der oberen Extremität
- Plexus lumbalis (Th12–L4) und Plexus sacralis (L4–S3), zusammengefasst zum Plexus lumbosacralis → Innervation der unteren Extremität.

MERKE

Plexus werden nur aus Rami anteriores gebildet!



Check-up

- ✓ Führen Sie sich noch einmal den Unterschied zwischen den Rami anteriores und posteriores vor Augen.
- ✓ Überlegen Sie, wodurch sich die Dermatome von Versorgungsgebieten peripherer Nerven unterscheiden.
- ✓ Rekapitulieren Sie, welche Spinalnerven (d. h. Spinalnerven welcher Segmente) präganglionäre sympathische Fasern führen.
- ✓ Wiederholen Sie, welche Fasern im Ramus communicans albus verlaufen.
- ✓ Wie heißt der Ramus posterior des ersten Spinalnervs und was innerviert er?

3.3 Der Plexus cervicalis

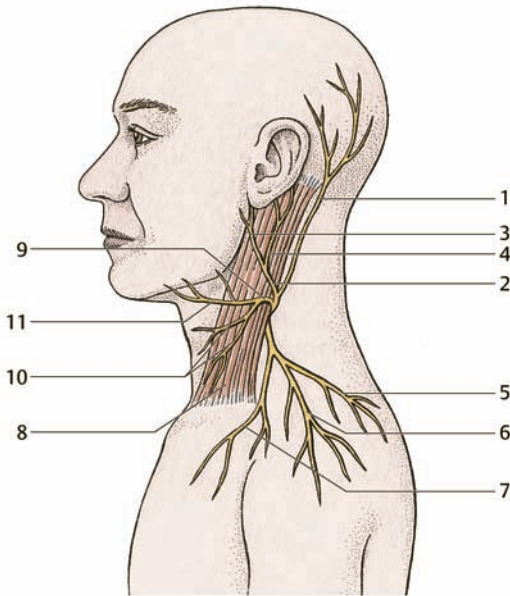


Lerncoach

Die Äste des Plexus cervicalis können Sie sich gut merken, wenn Sie die motorischen zur infrahyoidalen Muskulatur, die sensiblen zur Haut des Halses (mit angrenzenden Arealen) und den für die Atmung wichtigen gemischten N. phrenicus getrennt lernen.

Vor Bildung des Plexus cervicalis geben die Rami anteriores der Spinalnerven C1–C4 zunächst motorische Äste zu den tiefen Halsmuskeln ab (M. rectus capitis anterior und lateralis, M. longus capitis und colli, Mm. scaleni anterior, medius und posterior). Längere Äste ziehen noch zum M. sternocleidomastoideus und zum M. trapezius, die zusätzlich noch eine Innervation aus dem N. accessorius (s. S. 72) erhalten.

Anschließend bilden die Rami anteriores aus C1–C4 den Plexus cervicalis. Aus ihm gehen hervor:



- | |
|---|
| 1 N. occipitalis minor |
| 2 N. auricularis magnus mit:
3 R. anterior
4 R. posterior |
| Nn. supraclaviculares: |
| 5 Nn. supraclaviculares laterales |
| 6 Nn. supraclaviculares intermedii |
| 7 Nn. supraclaviculares mediales |
| 8 M. sternocleidomastoideus |
| 9 N. transversus colli mit:
10 Rr. inferiores
11 Rr. superiores |

Abb. 3.3 Sensible Äste des Plexus cervicalis an ihrem Austrittspunkt (Erb-Punkt)

- rein motorische Äste (über die Ansa cervicalis)
- rein sensible Nerven (Austritt am Punctum nervosum)
- N. phrenicus (gemischt).

3.3.1 Die motorischen Äste (Ansa cervicalis)

Die Ansa cervicalis (profunda) ist eine Nervenschlinge aus C1–C3, die die infrahyoidalen Muskeln innerviert.

Sie setzt sich aus zwei Wurzeln zusammen: Die motorischen Fasern aus C1 bilden die **Radix superior**. Sie zieht zunächst über eine kurze Strecke mit

dem N. hypoglossus (d.h. dem N. hypoglossus angelagert), steigt dann ins Trigonum caroticum ab. Dort verbindet sich die Radix superior mit der schräg über die V. jugularis interna verlaufenden **Radix inferior**, die Fasern aus C2 und C3 enthält.

Die Ansa cervicalis versorgt die infrahyoidalen Muskeln (M. sternohyoideus, M. sternothyroideus und M. omohyoideus). Der infrahyoidale M. thyrohyoideus und der suprahyoidale M. geniohyoideus werden von Fasern versorgt, die, nachdem sich die Radix superior vom N. hypoglossus getrennt hat, weiter mit diesem Nerv verlaufen und sich erst später abspalten.

3.3.2 Die sensiblen Äste

Die sensiblen Fasern aus den Rami anteriores C1–C4 formieren sich zu vier Nerven, die am Hinterrand des M. sternocleidomastoideus (etwa im mittleren Drittel) an die Oberfläche treten (**Punctum nervosum, Erb-Punkt**). Sie strahlen von hier nach kranial, ventral, dorsal und kaudal; dabei durchbrechen sie die Lamina superficialis der Fascia cervicalis (**Abb. 3.3**). Die vier Nerven sind:

- **N. occipitalis minor**: Der dünne Nerv verläuft am Hinterrand des M. sternocleidomastoideus nach dorsal zur Haut des Hinterhaupts.
- **N. auricularis magnus**: Der Nerv zieht vertikal auf dem M. sternocleidomastoideus aufwärts. Hinter dem Angulus mandibulae teilt er sich in Ramus anterior (→ Kieferwinkel und Vorderseite der Ohrmuschel) und Ramus posterior (→ Hinterfläche der Ohrmuschel und Haut hinter dem Ohr).
- **N. transversus colli**: Der Nerv verläuft horizontal (bedeckt vom Platysma) über den M. sternocleidomastoideus nach ventral zur Halshaut. Hier verzweigt er sich in Rr. superiores und inferiores. Ein R. superior verbindet sich mit dem motorischen R. colli nervi facialis (→ Innervation des Platysmas) zur sog. **Ansa cervicalis superficialis**.
- **Nn. supraclaviculares**: Die Äste strahlen fächerförmig (unter dem Platysma) in die Schlüsselbein- und Schultergegend abwärts. Sie versorgen die Haut über der Clavicula, über der Pars claviculae des M. pectoralis major und über dem Schultergelenk. Es werden unterschieden; Nn. supraclaviculares mediales, intermedii und laterales.

3.3.3 Der Nervus phrenicus

Der gemischte N. phrenicus innerviert das Zwerchfell motorisch und hat zudem sensible Äste zum Perikard (mit R. pericardiacus), zur Pleura und zum Peritoneum im Oberbauch (mit Rr. phrenicoabdominales).

Er enthält größtenteils Fasern aus C4 sowie Nebenäste aus C3 und C5. Auf dem M. scalenus anterior verläuft er (begleitet von der A. cervicalis ascendens) abwärts und gelangt dann zwischen A. und V. subclavia durch die obere Thoraxapertur zunächst in das obere Mediastinum). Hier zieht er vor dem Lungenhilum abwärts in das mittlere Mediastinum (zwischen Pleura mediastinalis und Perikard) zum Zwerchfell. Begleitet wird er dabei von der A. pericardiophrenica.

Klinischer Bezug

Läsion des N. phrenicus: Bei einseitiger Schädigung des N. phrenicus kommt es zum Zwerchfelldurchbruch, den man im Röntgenbild erkennen kann. Da das Zwerchfell der Hauptatemmuskel ist, droht bei beidseitigem Ausfall bzw. zentraler Schädigung der Neu- rone im Bereich der Rückenmarkssegmente C3–C5 die Gefahr lebensbedrohlicher Störungen der Atmung.



Check-up

- ✓ Wiederholen Sie, welche Nerven am Punctum nervosum austreten.
- ✓ Rekapitulieren Sie den Verlauf und das Versorgungsgebiet des N. phrenicus.

3.4 Der Plexus brachialis



Lerncoach

Die Nerven des Plexus brachialis (Armgeflecht) versorgen motorisch und sensibel die obere Extremität inkl. Schultergürtel. Er zeigt im Vergleich zu anderen Plexus eine recht komplizierte Verflechtung zu Trunci und Fasciculi. Versuchen Sie den Überblick darüber zu behalten, aus welchem Faszikel jeweils die langen gemischten Nerven zum Arm hervorgehen.

Der Plexus brachialis wird hauptsächlich von den Rami anteriores aus C5–C8 und Th1 gebildet; kleinere Zuflüsse kommen über Verbindungsäste aus C4 und Th2. In seinem Verlauf bilden sich zunächst drei Trunci (Primärstränge), die sich jeweils in zwei Anteile aufteilen. Diese Anteile (Divisiones) lagern sich zu drei Fasciculi (Sekundärstränge) zusammen (Abb. 3.4).

3.4.1 Die Bildung der Trunci und Äste der Pars supraclavicularis

Nach kurzem Verlauf formieren sich die Rr. anteriores zu 3 Trunci:

- **Truncus superior:** aus C5 und C6 (und kleinere Zuflüsse aus C4)
- **Truncus medius:** aus C7
- **Truncus inferior:** aus C8 und Th1 (und kleinere Zuflüsse aus Th2).

Die Trunci ziehen oberhalb der A. subclavia durch die Skalenuslücke (zwischen den Mm. scalenus anterior und medius) und teilen sich jeweils in einen vorderen und hinteren Ast (Divisiones anteriores und posteriores).

Die Äste, die den Plexus direkt aus den Rami anteriores oder den Trunci oberhalb der Clavicula verlassen, bilden die Pars supraclavicularis (Tab. 3.2). Unterhalb der Clavicula (Pars infraclavicularis) gehen die Äste in der Regel aus den Faszikeln hervor.



Lassen Sie sich nicht durch die z. T. voneinander abweichenden Zuordnungen der Nerven zur Pars supra- oder infraclavicularis verwirren. Entscheidend sind ihr Verlauf und das jeweilige Versorgungsgebiet, wodurch ein Rückschluss von bestimmten Ausfallserscheinungen auf den jeweils geschädigten Nerv und den Läsionsort möglich ist.

Klinischer Bezug

Läsion des N. thoracicus longus („Rucksacklähmung“): Typischerweise kommt es zur **Scapula alata**, d. h. zu einem Abheben des medialen Scapularandes vom Thorax. Die Scapula alata wird beim Stemmen der ausgestreckten Arme gegen eine Wand besonders gut sichtbar.

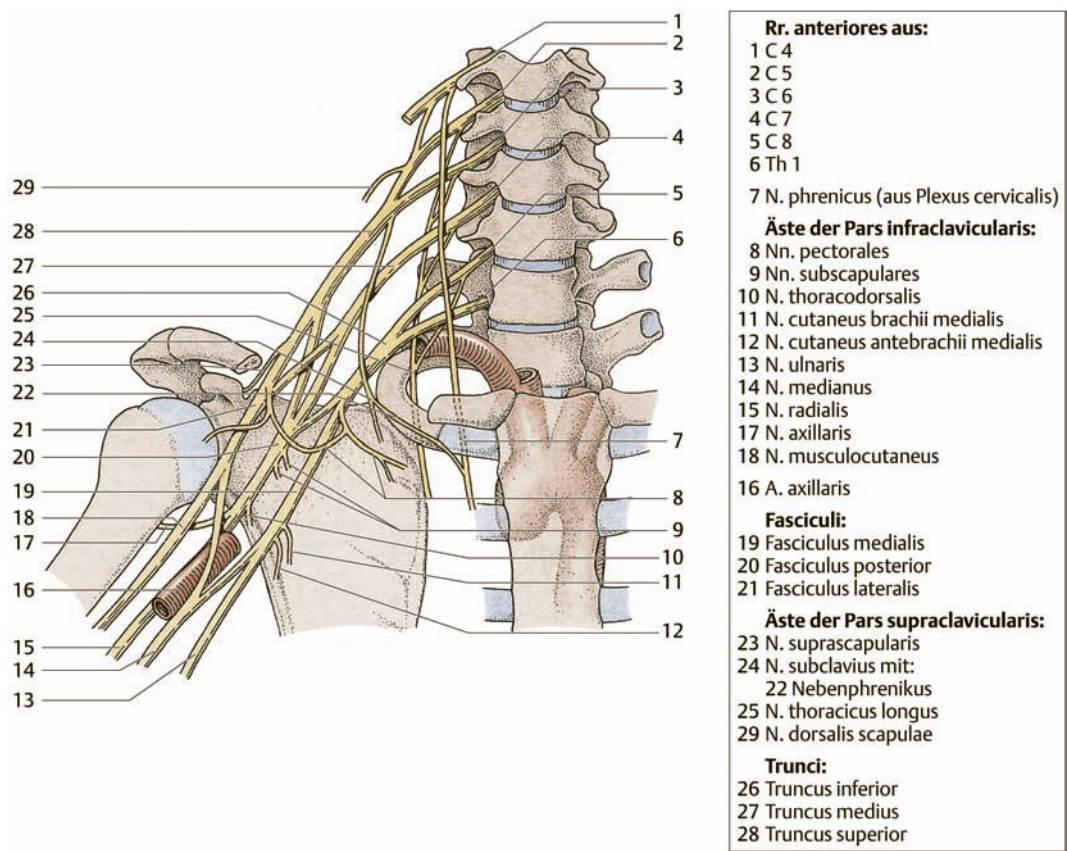


Abb. 3.4 Trunci und Fasciculi des Plexus brachialis

Tabelle 3.2

Äste der Pars supraclavicularis			
Herkunft	Nerv	Verlauf	innervierte Muskeln
C4–C5 Truncus superior	N. dorsalis scapulae	- durchbohrt den M. scalenus medius - verläuft dann unter den Mm. levator scapulae sowie rhomboidei major und minor (parallel zum medialen Schlüsselbeinrand)	→ M. levator scapulae → Mm. rhomboidei
C5–C7 Rr. anteriores	N. thoracicus longus	- durchbohrt ebenfalls den M. scalenus medius - zieht in der mittleren Axillarlinie auf dem M. serratus anterior (Leitmuskel) abwärts	→ M. serratus anterior
C5–C6 Truncus superior	N. subclavius	- dünnere Nerv zum gleichnamigen Muskel - schickt häufig einen Ast („Nebenphrenikus“) zum N. phrenicus	→ M. subclavius
C4–C6 Truncus superior	N. suprascapularis	- verläuft unterhalb des Lig. transversum scapulae durch die Incisura scapulae zur Fossa supraspinata - sein Endast gelangt in die Fossa infraspinata	→ M. supraspinatus → M. infraspinatus

Tabelle 3.3

Äste der Pars infraclavicularis			
Herkunft	Nerv	Verlauf	innervierte Strukturen
C5–C7 Fasciculus lateralis	N. musculocutaneus (C5–C7)	- durchbohrt den M. coracobrachialis (Abb. 3.6, S. 44) - zieht dann zwischen M. biceps brachii und M. brachialis nach distal - sensibler Endast: N. cutaneus antebrachii lateralis (tritt lateral von der Sehne des M. biceps brachii durch die Armfaszie)	Flexoren des Oberarms: → M. coracobrachialis → M. biceps brachii → M. brachialis → Haut an der Radialseite des Unterarms
	N. medianus (Radix lateralis, C6–C7)	s. S. 44	→ s. Tab. 3.5, S. 46
	N. pectoralis lateralis* (C5–C7)	durch die Fascia pectoralis zum jeweiligen Muskel	→ M. pectoralis major → M. pectoralis minor
C8–Th1 Fasciculus medialis	N. pectoralis medialis* (C8–Th1)		
	N. medianus (Radix medialis, C8–Th1)	s. S. 44	→ s. Tab. 3.5, S. 46
	N. ulnaris (C8–Th1)	s. S. 46	→ s. Tab. 3.6, S. 48
	N. cutaneus brachii medialis (C8–Th1)	- vereinigt sich in der Achselhöhle mit den Nn. intercostobrachiales aus 2. und 3. Interkostalnerv - durchbricht am Unterrand des M. pectoralis major die Faszie	→ Haut an der Medialseite des Oberarms
	N. cutaneus antebrachii medialis (C8–Th1)	- tritt mit V. basilica am Hiatus basilicus durch die Faszie - spaltet sich in Rr. anterior und posterior	→ Haut an der Medialseite des Unterarms
C5–Th1 Fasciculus posterior	Nn. subscapulares* C5–C7	durchbohren den M. subscapularis	→ M. subscapularis → (meist auch) M. teres major
	N. thoracodorsalis* (C6–C8)	- am seitlichen Rand der Scapula - mit gleichnamigen Gefäßen auf der Innenseite des M. latissimus dorsi	→ M. latissimus dorsi → (manchmal) M. teres major
	N. axillaris (C5–C6)	- verläuft auf dem M. subscapularis - tritt mit A. und V. circumflexa humeri posterior durch die laterale Achsellücke (Abb. 3.8, S. 47) - zieht um das Collum chirurgicum humeri herum von innen zu den durch ihn innervierten Muskeln - sensibler Endast: N. cutaneus brachii lateralis superior am Hinterrand des M. deltoideus	→ M. deltoideus → M. teres minor → Haut über dem M. deltoideus
	N. radialis (C5–Th1)	s. S. 42	s. Tab. 3.4, S. 43

*Diese Nerven werden manchmal auch zur Pars supraclavicularis gerechnet.

3.4.2 Die Bildung der Fasciculi und Äste der Pars infraclavicularis

Die Divisiones der Trunci bilden die Fasciculi:

- **Fasciculus lateralis:** aus den vorderen Anteilen des Truncus superior und des Truncus medius
- **Fasciculus medialis:** aus dem vorderen Anteil des Truncus inferior
- **Fasciculus dorsalis:** aus den hinteren Anteilen aller drei Trunci.

Die drei Fasciculi sind nach ihrer Lage zur A. axillaris benannt. Aus ihnen gehen die großen Nervenzweige des Arms hervor (Tab. 3.3).

Klinischer Bezug

Läsion des N. axillaris: Sie kann z. B. als Begleitverletzung bei einer Oberarmfraktur auf Höhe des Collum chirurgicum auftreten, also bei einem typischen Knochenbruch älterer Menschen (z. B. beim Sturz auf die ausgestreckte Hand). Eine weitere Ursache ist die Schulterluxation. Symptome bei Schädigung dieses Nervs sind eine Beeinträchtigung der Abduktion und Elevation des Armes sowie Sensibilitätsstörungen an der proximalen Oberarmaußenfläche.

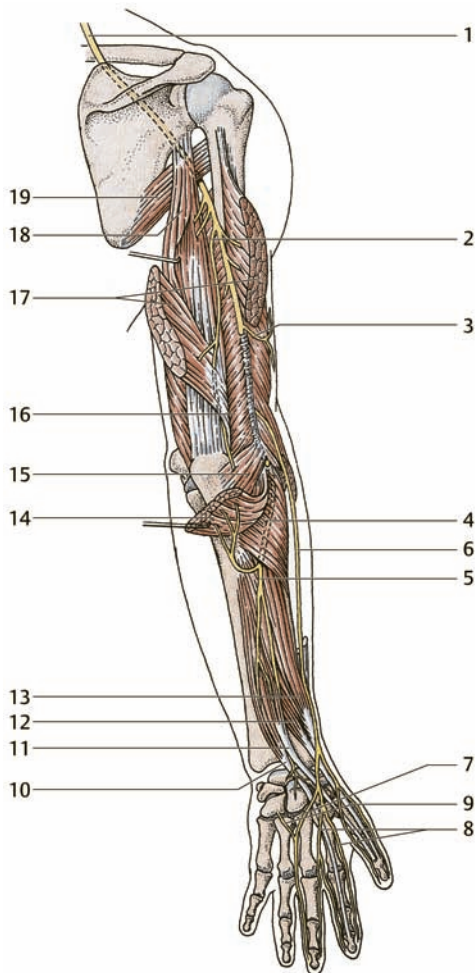
3.4.2.1 Der Nervus radialis

Der Verlauf des N. radialis und seiner Äste

Der N. radialis entspringt hinter der A. axillaris aus dem Fasciculus posterior. Er überkreuzt die Ansatzsehnen der Mm. latissimus dorsi und teres major und zieht auf die Rückseite des Oberarms in den Radialiskanal (**Abb. 3.5**). Letzterer wird gebildet durch den Sulcus radialis am Humerus und die Ursprünge vom Caput mediale und Caput laterale des M. triceps brachii. Dem Knochen dicht anliegend verläuft der N. radialis in seinem Kanal von proximal-medial nach distal-lateral (begleitet von der A. profunda brachii).

Nach Austritt aus seinem Kanal durchbricht der N. radialis das Septum intermusculare laterale, um auf die Beugeseite zu gelangen. In dem Spalt zwischen M. brachioradialis und M. brachialis erreicht er die Fossa cubiti. Auf Höhe des Radiusköpfchens teilt er sich in seine beiden Endäste: Ramus superficialis und Ramus profundus.

— Der sensible **R. superficialis** zieht, bedeckt vom M. brachioradialis und begleitet von der A. radialis, zunächst in der radialen Gefäß-Nerven-Straße. Am Übergang zum distalen Drittel des Unterarms verlässt der Ramus superficialis die Gefäß-Nerven-Straße; er unterkreuzt den M. brachioradialis und gelangt so auf die Streckseite.



- 1 N. radialis
- 2 N. cutaneus brachii posterior
- 3 N. cutaneus brachii lateralis inferior
- 4 R. profundus mit:
- 5 N. interosseus posterior
- 6 R. superficialis mit:
- 7 R. communicans ulnaris
- 8 Nn. digitales dorsales
- 9 R. dorsalis nervi ulnaris
- 10 M. extensor indicis
- 11 M. extensor pollicis longus
- 12 M. extensor pollicis brevis
- 13 M. abductor pollicis longus
- 14 M. extensor digitorum und M. extensor carpi ulnaris
- 15 M. anconeus
- M. triceps brachii:
- 16 Caput mediale
- 17 Caput laterale
- 18 Caput longum
- 19 M. teres major

Abb. 3.5 N. radialis und seine Äste am rechten Arm (Ansicht von dorsal)

Tabelle 3.4

Äste des N. radialis	
Äste mit Höhe ihres Abgangs	innervierte Strukturen
am Oberarm:	
– Rr. musculares	→ M. triceps brachii → M. anconeus
– N. cutaneus brachii posterior	→ Hautareal am dorsomedialen Oberarm
– N. cutaneus brachii lateralis inferior	→ Haut des laterodorsalen Oberarms
– N. cutaneus antebrachii posterior	→ Hautareal über dem Ellenbogen bis zum dorsalen Unterarm
in der Fossa cubiti:	
– Rr. musculares	→ radiale Muskelgruppe am Unterarm – M. brachioradialis – M. extensor carpi radialis longus – M. extensor carpi radialis brevis
auf Höhe des Radiusköpfchens:	
– R. superficialis	→ radiale Seite des Handrückens
– Nn. digitales dorsales	→ Dorsalfäche des Daumens, des Zeigefingers und der radialen Hälfte des Mittelfingers (ohne Endglieder des Zeige- und Mittelfingers)
– Ramus communicans cum n. ulnaris	→ Verbindung zum R. dorsalis n. ulnaris (s. S. 48)
– R. profundus	→ tiefe und oberflächliche Extensoren am Unterarm: – M. supinator – M. extensor digitorum – M. extensor digiti minimi – M. extensor carpi ulnaris – M. abductor pollicis longus – M. extensor pollicis longus – M. extensor pollicis brevis – M. extensor indicis
– N. interosseus posterior	→ Periost von Radius und Ulna → Kapseln des distalen Radioulnargelenks und der Handgelenke

- Der **Ramus profundus** des N. radialis zieht durch den M. supinator (im Supinatorkanal, zwischen oberflächlichem und tiefem Anteil des Muskels). Dann verläuft er zwischen der oberflächlichen und tiefen Schicht der Extensoren, die er mit zahlreichen Muskelästen innerviert. Sein **Endast** (N. interosseus posterior) liegt zunächst weiterhin zwischen den zwei Muskelschichten. Im distalen Unterarmdrittel gelangt er auf die Membrana interossea (begleitet von der A. interossea posterior) zur Hand.

Das Versorgungsgebiet des N. radialis und seiner Äste

MERKE

Der N. radialis und seine Äste versorgen **motorisch** die **Strecker** des Ober- und Unterarms sowie **sensibel** die Haut an der **Dorsalseite** des Arms (Tab. 3.4).

Klinischer Bezug

Läsion des N. radialis: Während seines langen Verlaufs kann der N. radialis an mehreren Stellen verletzt werden. Da jeder vor der jeweiligen Läsionsstelle abgezweigte Ast unversehrt ist, kommt es zu unterschiedlich ausgeprägten Ausfallserscheinungen, die umso ausgedehnter sind, je weiter proximal die Verletzungsstelle des Nervs liegt:

- Bei einer Schädigung im Bereich des *Handgelenks* (sog. „Fesselungslähmung“), die z.B. auch durch Druck eines festen Uhrenarmbands auf den R. superficialis bedingt sein kann, ist lediglich ein Sensibilitätsausfall am radialen Handrücken zu beobachten.
- Wird der R. profundus am *proximalen Unterarm* (beim Durchtritt durch den M. supinator) komprimiert, führt dies zu einem rein motorischen Ausfallsmuster, das durch Lähmung der Fingerstrecker dominiert wird.
- Liegt der Schädigungsort weiter proximal (*Oberarm*), z.B. bei einer Oberarmschaftfraktur oder einer Druckschädigung in der Oberarmmitte („Schlaf- oder Parkbanklähmung“) ist die Handstreckung

durch Ausfall der Extensoren am Unterarm gar nicht mehr möglich (**Fallhand**). In der neurologischen Untersuchung unterbleibt die Flexion im Ellenbogengelenk beim Schlag auf das distale Radiusende am leicht gebeugten und proniertem Arm (Abschwächung/Ausfall des Brachioradialis- oder Radiusperiostreflexes durch Lähmung der aufs Ellenbogengelenk flektierend wirkenden radialen Muskelgruppe). Zusätzlich kommt es je nach Läsionshöhe zu Sensibilitätsstörungen in den vom N. radialis innervierten Hautarealen.

- Kommt es zur Verletzung im Bereich der *Axilla* kann auch das Ellenbogengelenk durch den M. triceps brachii nicht mehr gestreckt werden und der Eigen-

reflex dieses Muskels (s. S. 87) ist nicht auslösbar bzw. abgeschwächt. Die Sensibilität ist in allen vom N. radialis innervierten Hautbereichen gestört.

3.4.2.2 Der Nervus medianus

Der Verlauf des N. medianus und seiner Äste

Der Nerv entsteht auf der A. axillaris durch Vereinigung seiner medialen Wurzel aus dem Fasciculus medialis mit seiner lateralen Wurzel aus dem Fasciculus lateralis (**Medianusgabel**). Dann verläuft er im Sulcus bicipitalis medialis (vor dem Septum intermusculare mediale) zusammen mit der A. brachialis und N. cutaneus antebrachii medialis zur El-

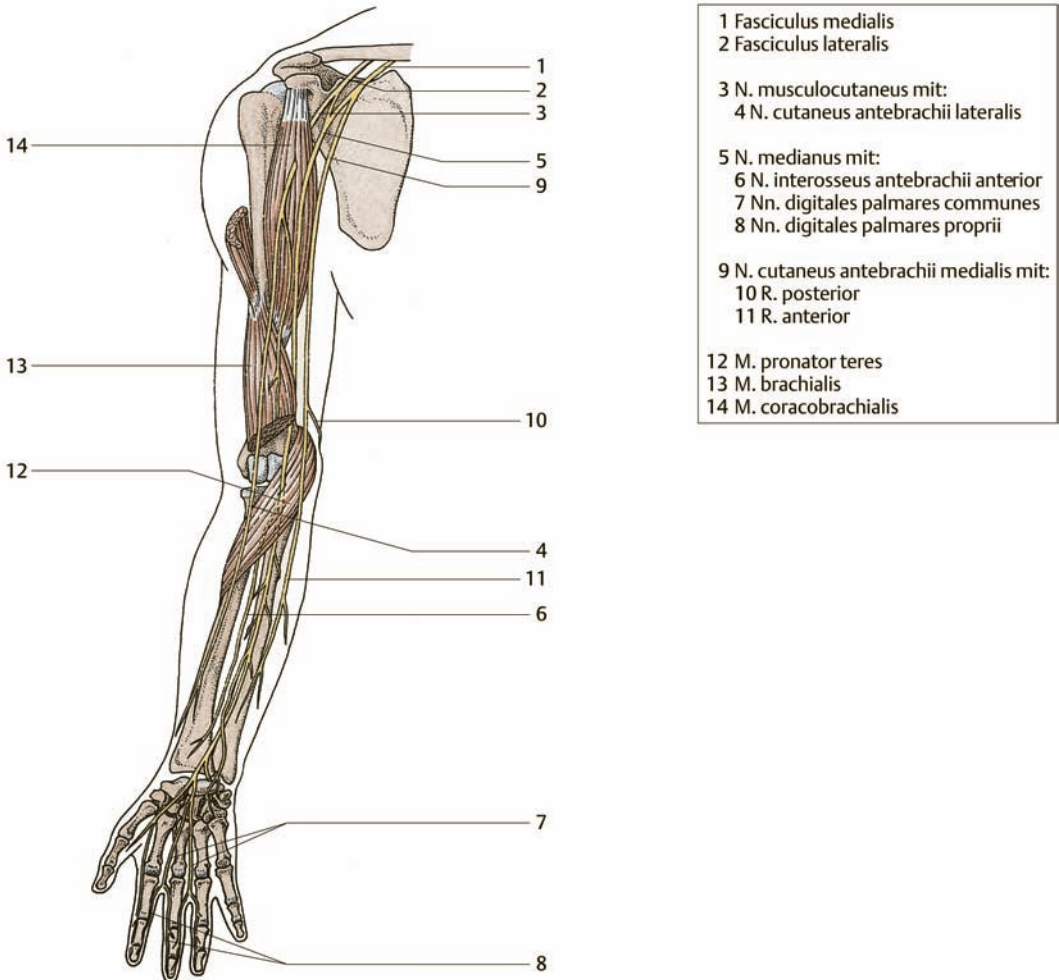


Abb. 3.6 N. medianus, N. musculocutaneus und N. cutaneus antebrachii medialis mit ihren Ästen am rechten Arm (Ansicht von ventral)

lenbeuge. Hier liegt er bedeckt von der Aponeurose des M. biceps brachii (Abb. 3.6).

Der N. medianus verlässt die Ellenbeuge, indem er zwischen den beiden Köpfen (Caput humerale und Caput ulnare) des M. pronator teres hindurchtritt und zieht danach zwischen den oberflächlichen und tiefen Beugern (in der mittleren Gefäß-Nerven-Straße des Unterarms) distalwärts. Distal am Unterarm liegt er oberflächlich zwischen M. flexor carpi radialis und M. palmaris longus. Dann zieht er durch den Canalis carpi (unter dem Retinaculum flexorum) zur Hohlhand.

Während er am Oberarm keine Äste bildet, gibt der N. medianus am Unterarm neben den Muskelästen den N. interosseus antebrachii anterior ab (Tab. 3.5). Dieser Nerv entspringt auf Höhe des M. pronator teres und zieht auf der Membrana interossea antebrachii nach distal, wobei er Äste zu den tiefen Flexoren entlässt. Auch der R. palmaris zweigt noch am distalen Unterarmdrittel ab und durchbricht die Faszie bevor er zur radialen Hand zieht.

Das Versorgungsgebiet des N. medianus und seiner Äste

MERKE

Der N. medianus versorgt *motorisch* am Unterarm fast alle Flexoren (2 Ausnahmen: M. flexor carpi ulnaris und ulnare Anteil des M. flexor digitorum profundus), von den kurzen Handmuskeln jedoch nur 3 Thenarmuskeln und 2 Mm. lumbricales. Sein *sensibles* Innervationsgebiet liegt auf der Radialseite der Hand hauptsächlich palmar (Tab. 3.5).

Klinischer Bezug

Läsion des N. medianus: Auch dieser Nerv kann an verschiedenen Stellen verletzt werden:

- Beim **Karpaltunnelsyndrom** kommt es zu einer chronischen Druckschädigung des N. medianus unter dem Retinaculum flexorum im *Canalis carpi* (meist bei Frauen im mittleren Alter, auch z. B. bei Patienten mit Gicht oder Diabetes mellitus). Im Vordergrund stehen Kribbelparästhesien im sensiblen Versorgungsgebiet der 3^{1/2} radialen Finger, die v. a. nachts auftreten. Auf Dauer kann es zusätzlich zu einer langsamen Atrophie der vom N. medianus innervierten kurzen Thenarmuskeln kommen (Daumenballenatrophie).
- Aufgrund seines oberflächlichen Verlaufs ist der N. medianus auch bei Schnittverletzungen am Handgelenk relativ häufig verletzt. Dann fallen zusätzlich die von ihm innervierten kurzen Handmuskeln aus (→ „**Affenhand**“) und es kommt zu:
 - ungenügender Opposition des Daumens sowie
 - ungenügender Abduktion des Daumens. Dies bedeutet, dass ein runder Gegenstand (z. B. eine Flasche) nicht vollständig umfasst werden kann und die Haut zwischen Daumen und Zeigefinger dem Gegenstand nicht ganz anliegt („**Flaschenzeichen**“, Abb. 3.7).
- Bei einer Medianusläsion am *Oberarm* oder im Bereich des *Ellenbogens* kann der Patient beim Versuch, eine Faust zu machen, lediglich die ulnaren Finger beugen (über den vom N. ulnaris innervierten Anteil des M. flexor digitorum profundus), wodurch die sog. **Schwurhand** entsteht. Zudem treten auch hier die je nach Läsionshöhe typischen Sensibilitätsstörungen auf (s. Tab. 3.5).

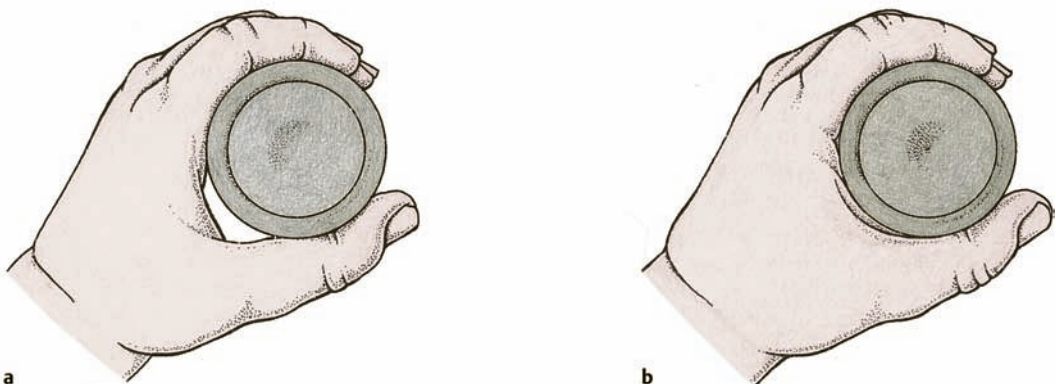


Abb. 3.7 Flaschenzeichen bei Medianusläsion (a) im Vergleich zur Normalsituation (b)

Tabelle 3.5

Äste des N. medianus

Äste	innervierte Strukturen
zum Unterarm:	→ <i>alle Flexoren</i> am Unterarm <i>außer</i> den M. flexor carpi ulnaris und den ulnaren Teil des M. flexor digitorum profundus (s. N. ulnaris):
– Rr. musculares	– M. pronator teres – M. palmaris longus – M. flexor carpi radialis – M. flexor digitorum superficialis – M. flexor pollicis longus – M. flexor digitorum profundus (radialer Teil) – M. pronator quadratus
– N. interosseus antebrachii anterior	
zur Hand:	
– R. palmaris n. mediani	→ Haut des Daumenballens (Thenar) und der lateralen Hohlhand
– Rr. musculares	→ oberflächlich gelegene Thenarmuskeln: – M. abductor pollicis brevis – M. opponens pollicis – Caput superficiale des M. flexor pollicis brevis → Mm. lumbricales I und II von den mittleren kurzen Handmuskeln → palmare Haut der 3 1/2 radialen Finger → Dorsalseite der Endphalangen dieser Finger
– Nn. digitales palmares communes I–III mit Nn. digitales palmares proprii	
– R. communicans cum n. ulnaris	Verbindungsast zum Ramus superficialis des N. ulnaris

3.4.2.3 Der Nervus ulnaris

Der Verlauf des N. ulnaris und seiner Äste

Der Nerv bildet sich medial der A. axillaris aus dem medialen Teil des Fasciculus medialis und verläuft anfangs im Sulcus bicipitalis medialis.

Etwa auf Höhe der Oberarmmitte durchbohrt er das Septum intermusculare mediale und zieht anschließend auf der Streckseite zum Sulcus n. ulnaris des Epicondylus medialis (Abb. 3.8). Zurück auf die Beugeseite gelangt er zwischen Caput humerale und Caput ulnare des M. flexor carpi ulnaris hindurch. Anschließend verläuft der Nerv mit der A. ulnaris (in der ulnaren Gefäßnervenstraße des Unterarms, bedeckt vom M. flexor carpi ulnaris) distalwärts. Er zieht über dem Retinaculum flexorum in der **Guyon-Loge** zur Hand. Innerhalb dieser Loge (lateral vom Os pisiforme) teilt sich der N. ulnaris in seine zwei Endäste, R. superficialis (unter der Palmaraponeurose) und R. profundus. Letzterer zieht durch den Kleinfingerballen (zwischen M. flexor digiti minimi und M. abductor digiti minimi) in die Tiefe und verläuft parallel zum tiefen Hohlhandbogen.

Im Oberarmbereich gibt der N. ulnaris keine Äste ab. Im Unterarmbereich gehen neben den Muskelästen zwei Hautäste zur Hand ab: Etwa in der Mitte des Unterarms der dorsale, der unter der Sehne des M. flexor carpi ulnaris auf die Streckseite gelangt und im distalen Drittel der palmare.

Das Versorgungsgebiet des N. ulnaris und seiner Äste

MERKE

Das Innervationsgebiet des N. ulnaris liegt vorwiegend im Bereich der Hand: *Motorisch* werden die kurzen Handmuskeln (mit Ausnahme der 5 durch den N. medianus innervierten) von ihm versorgt, am Unterarm dagegen nur 2 Flexoren. *Sensibel* innerviert er die Haut im ulnaren Handbereich (Tab. 3.6).

Klinischer Bezug

Läsion des N. ulnaris: Typisch für diese Nervenverletzung ist der Ausfall der Mm. interossei, die bereits äußerlich durch die Atrophien zwischen den Mittelhandknochen (Ossa metacarpalia) erkennbar ist. Da ihre beugende Komponente in den Grundgelenken (Metakarpophalangealgelenken) des 2. bis 4. Fingers wegfällt, kommt es hier zu einer Überstreckung. Im Mittel- und Endgelenk dagegen fehlt die Streckung durch diese Muskeln, sodass hier das beugende Moment überwiegt. Es resultiert die sog. „**Krallenhand**“. Ferner kann der Ausfall des M. adductor pollicis nachgewiesen werden (**Froment-Zeichen**, Abb. 3.9): Bei kräftigem Festhalten eines flachen Gegenstandes (z. B. eines Blattes) zwischen Daumen und Zeigefinger wird die eingeschränkte Adduktionsfähigkeit kompensiert, indem der Patient das Blatt mittels Flexion fixiert (M.

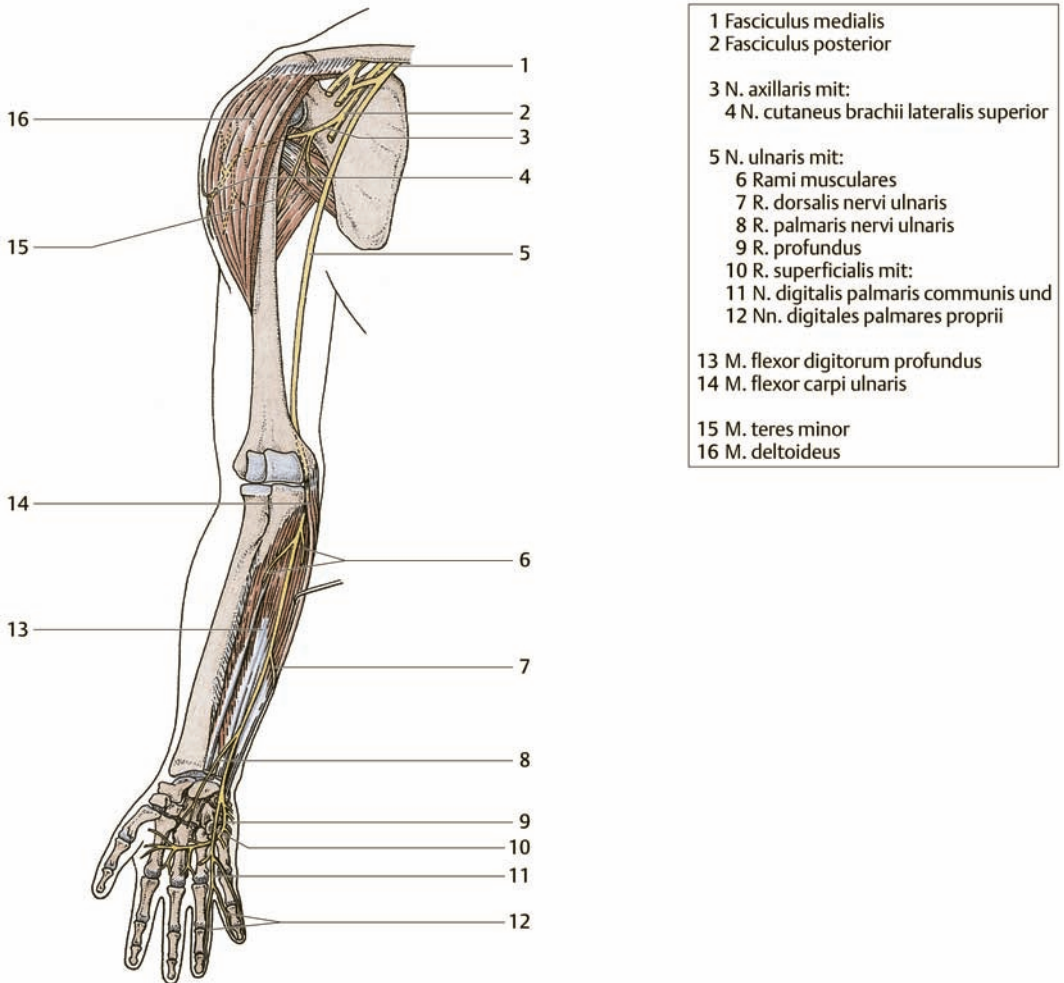


Abb. 3.8 N. ulnaris und N. axillaris (s. S. 41) mit ihren Ästen am rechten Arm (Ansicht von ventral)

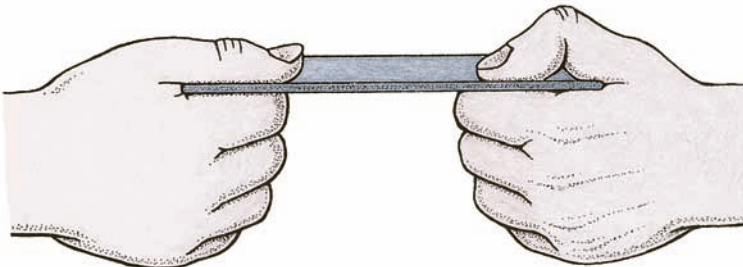


Abb. 3.9 Froment-Zeichen bei Ulnaris-Parese links

Tabelle 3.6

Äste des N. ulnaris

Ast	innervierte Strukturen
zum Unterarm: – Rr. musculares	→ M. flexor carpi ulnaris → M. flexor digitorum profundus (ulnarer Teil)
zur Hand: – R. dorsalis n. ulnaris – Nn. digitales dorsales – R. palmaris n. ulnaris – R. superficialis – N. digitalis palmaris communis – Nn. digitales palmares proprii – R. profundus	→ Haut der ulnaren Handrückenhälfte → Anastomose mit dem R. superficialis des N. radialis → dorsale Haut der 2½ ulnaren Finger (bis auf die Endglieder, die von palmaren Ästen mitversorgt werden) → Haut des Kleinfingerballens → palmare Haut der 1½ ulnaren Finger und deren Endphalangen auf der Dorsalseite → Hypothenarmuskeln: – M. abductor digiti minimi – M. flexor digiti minimi – M. opponens digiti minimi → Von den mittleren kurzen Handmuskeln: – Mm. interossei palmares und dorsales – Mm. lumbricales III und IV → am Thenar die tiefen Muskeln: – M. adductor pollicis (mit Caput transversum und Caput obliquum) – Caput profundum des M. flexor pollicis brevis

flexor pollicis longus wird nicht durch den N. ulnaris, sondern durch den N. medianus innerviert). Bei länger bestehender Ulnarisschädigung kann es zu einer Hypothenaratrophie kommen.

Mögliche Lähmungsursachen sind: Ellenbogenverletzungen, chronische Druckschädigung im Sulcus n. ulnaris (längeres, auch berufsbedingtes Aufstützen des Ellenbogens), Anomalien im Sulcus n. ulnaris (mit Herausspringen des Nervs aus seinem Sulcus beim Beugen des Ellenbogens), Schnittverletzungen oder Druckschädigungen an der Handwurzel (langjähriger Umgang mit bestimmten Arbeitsinstrumenten, z.B. Schmiedehammer) oder chronische Schädigung in der Guyon-Loge. In Abhängigkeit von der Läsionshöhe kann die Sensibilität ebenfalls gestört oder intakt sein (vgl. sensible Äste, Tab. 3.6).



Check-up

- ✓ Wiederholen Sie zur Bildung des Plexus brachialis:
 - woher die Fasern der 3 Trunci stammen,
 - aus welchen Anteilen der Trunci welcher Fasciculus entsteht und
 - welche großen Äste des Plexus brachialis aus welchem Fasciculus hervorgehen.



Rekapitulieren Sie insbesondere Verlauf, Äste und Versorgungsgebiet folgender Nerven des Plexus brachialis: N. thoracicus longus, N. musculocutaneus, N. axillaris, N. radialis, N. medianus und N. ulnaris. Die häufig geprüften Ausfallserscheinungen der Nerven können Ihnen helfen, sich nochmals ihre jeweiligen Funktionen vor Augen zu führen.

3.5 Der Plexus lumbosacralis



Lerncoach

Teile der unteren Rumpfwand sowie die untere Extremität erhalten ihre Nervenversorgung aus dem Plexus lumbosacralis (Lendenkreuzbeingeflecht, Abb. 3.10). Die Unterteilung in Plexus lumbalis und Plexus sacralis können Sie zur groben Orientierung nutzen: Fasern „höheren“ Ursprungs sind vorrangig an der nervalen Versorgung von Bauchwand sowie ventrolateralem Ober- und Unterschenkel beteiligt, während Fasern aus weiter kaudal gelegenen Rückenmarkssegmenten eher dorsal gelegene Strukturen des Beins inklusive Fuß innervieren.

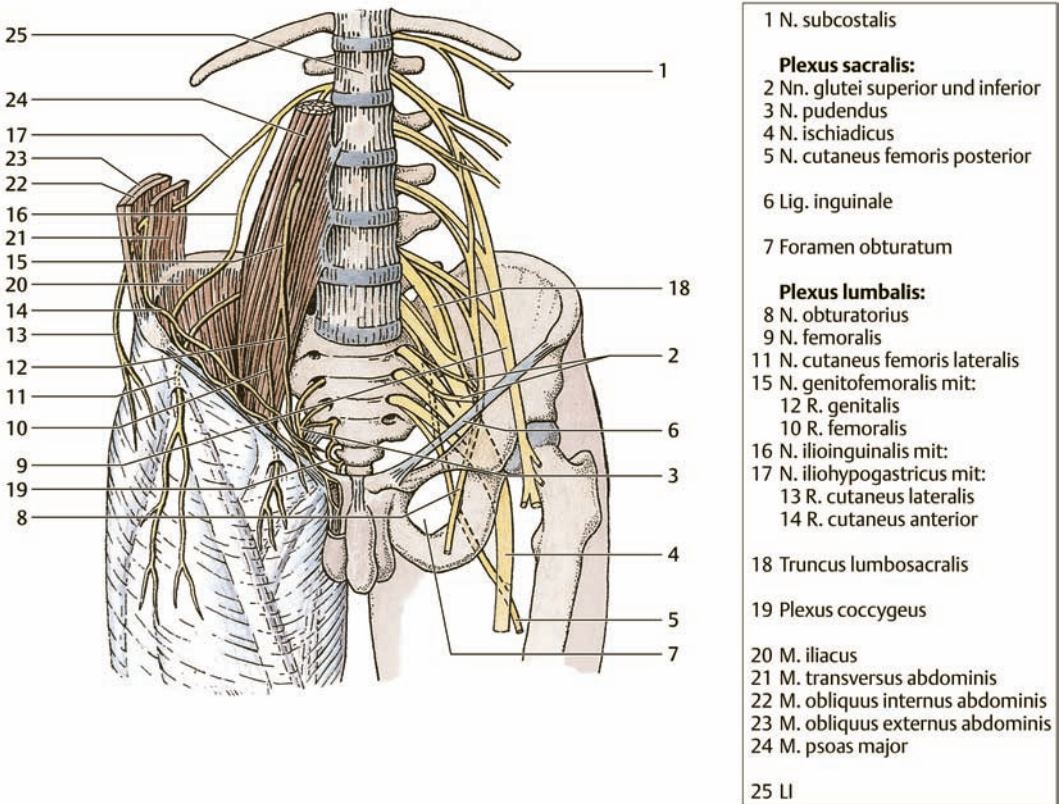


Abb. 3.10 Plexus lumbosacralis und seine Äste

3.5.1 Der Plexus lumbalis

Der Plexus lumbalis (Lendengeflecht) wird gebildet aus den Rr. anteriores der Spinalnerven aus den Segmenten L1–L3 sowie aus kleineren Faserbündeln aus Th12 und L4 (Truncus lumbosacralis, s. u.). Er liegt innerhalb des M. psoas major (zwischen dessen oberflächlicher und tiefer Muskelschicht). Kurze Äste (Rr. musculares) entspringen direkt aus dem Plexus und versorgen benachbarte Muskeln: M. psoas major, M. psoas minor, M. iliacus und M. quadratus lumborum.

3.5.1.1 Die Nervi iliohypogastricus, ilioinguinalis und genitofemoralis

Der **N. iliohypogastricus** gelangt durch den M. psoas major nach lateral und zieht auf der Vorderfläche des M. quadratus lumborum hinter die Niere. Er verläuft schräg abwärts und dann nach vent-

ral zwischen M. transversus abdominis und M. obliquus internus abdominis, die er beide innerviert.

Die zwei Hautäste des N. iliohypogastricus versorgen das Areal oberhalb und medial des äußeren Leistenrings (R. cutaneus anterior) und die Haut der Hüfte (R. cutaneus lateralis).

Der **N. ilioinguinalis** hat oft einen gemeinsamen Stamm mit dem N. iliohypogastricus. Weiter kaudal verläuft er parallel zu letzterem auf dem M. quadratus lumborum und dorsal der Niere.

Er erreicht ebenfalls die Mm. transversus abdominis und obliquus internus abdominis. Seine sensiblen Fasern (Nn. scrotales/labiales anteriores) ziehen dann durch den Leistenkanal und versorgen ein Hautareal im Bereich des Skrotums bzw. die großen Schamlippen vorne sowie die benachbarte Oberschenkelhaut.

Der **N. genitofemoralis** durchbricht den M. psoas major, läuft auf ihm abwärts und teilt sich in R. genitalis und R. femoralis:

- Der **R. genitalis** verläuft durch den Leistenkanal zum M. cremaster und zur Haut des Skrotums bzw. zur Haut der großen Schamlippen.
- Der rein sensible **R. femoralis** tritt (zusammen mit den Vasa femoralia durch die Lacuna vasorum und gelangt am Hiatus saphenus an die Oberfläche, um die Haut unterhalb des Leistenbandes zu versorgen.

3.5.1.2 Die Nervi cutaneus femoris lateralis, obturatorius und femoralis

Der rein sensible **N. cutaneus femoris lateralis** verläuft schräg über den M. iliacus (unter der Fascia iliaca) in die Umgebung der Spina iliaca anterior superior (**Abb. 3.11**). Medial der Spina iliaca anterior geht der Nerv aus einem etwa horizontalen Verlauf im Becken in einen vertikalen Verlauf über. Hier, d.h. im lateralen Teil der Lacuna musculorum, kann er von Fasern des Leistenbandes umfasst sein. Am Oberschenkel verläuft er zunächst unter der Fascia lata, die er nach kurzem Verlauf durchbricht, um seine laterale Haut zu versorgen.

Klinischer Bezug

Meralgia paraesthetica: Beim Durchtritt unter bzw. im Leistenband kann der N. cutaneus femoris lateralis komprimiert werden. Neben den anatomischen Besonderheiten können äußere Faktoren eine Rolle spielen, wie beengende Kleidung, zu straffer Gürtel oder abnormer Fettansatz (Hängebauch). Die Patienten klagen über Missempfindungen (Parästhesien) oder manchmal brennende Schmerzen an der Außenseite des Oberschenkels. Die Beschwerden sind bei Streckstellung im Hüftgelenk ausgeprägter.

Der gemischte **N. obturatorius** zieht medial des M. psoas major abwärts ins kleine Becken, wo er bei der Frau in der Nähe des Ovars verläuft. Nach Unterkreuzen der Vasa iliaca internae tritt er in den Canalis obturatorius ein.

Er gibt Rr. musculares zum M. obturatorius externus ab und teilt sich in Ramus anterior und posterior:

- Der **R. anterior** versorgt *motorisch* folgende Adduktoren des Hüftgelenks: M. pectineus (Doppelinnervation mit N. femoralis), M. adductor brevis, M. adductor longus und M. gracilis. Sein *sensibler* Endast (R. cutaneus) durchbricht die Fascia lata und innerviert ein handtellergroßes Areal distal an der Innenseite des Oberschenkels.
- Der **R. posterior** des N. obturatorius innerviert *motorisch* den M. adductor magnus (Doppelinnervation mit Tibialisanteil des N. ischiadicus). Außerdem gibt er einen sensiblen Ast zur Hinterwand der Kniegelenkscapsel ab (**R. articularis genus**).

MERKE

Der N. obturatorius innerviert *motorisch* die Adduktoren des Hüftgelenks: M. adductor magnus, M. adductor longus, M. adductor brevis, M. gracilis und M. pectineus. Letzterer erhält eine Doppelinnervation durch die Nn. obturatorius und femoralis. Das durch den N. obturatorius *sensibel* versorgte handtellergroße Hautareal liegt an der distalen Oberschenkelinnenseite.

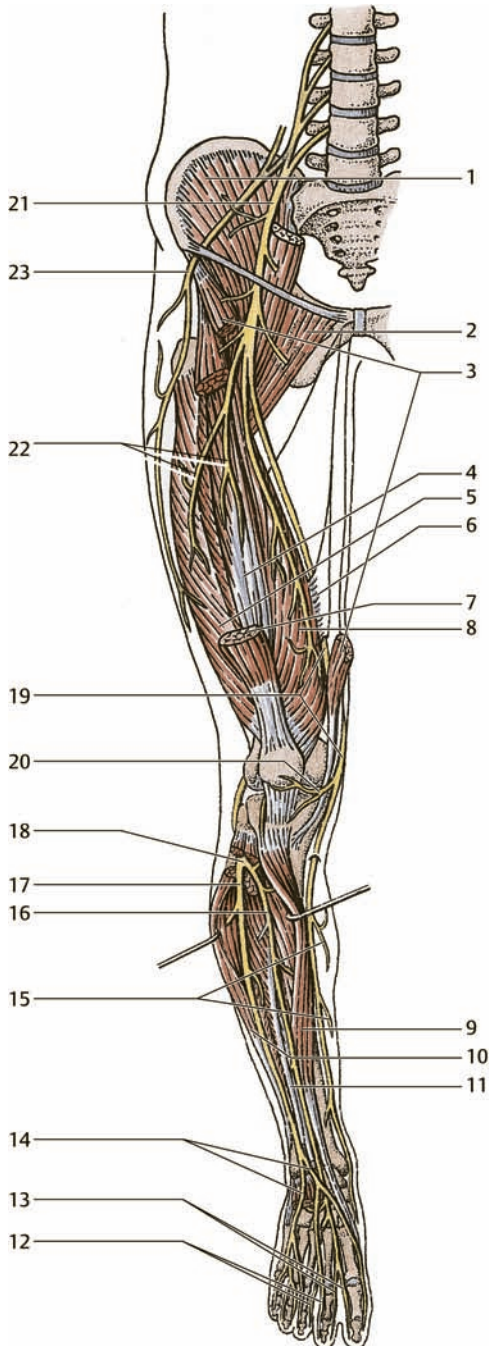
Klinischer Bezug

Läsion des N. obturatorius: Wird der Nerv in seinem Verlauf geschädigt (z. B. unter der Geburt, bei Beckenfrakturen oder selteneren Obturatoriushernien) bestehen eine Schwäche der Adduktoren und Sensibilitätsstörungen am distalen medialen Oberschenkel.

Der **N. femoralis** (stärkster Ast des Plexus lumbalis) tritt am unteren, seitlichen Rand des M. psoas major in die Rinne zwischen M. psoas major und M. iliacus. Hier verläuft er abwärts (**Abb. 3.11**), gibt Rr. musculares zu diesen beiden als M. iliopsoas zusammengefassten Muskeln ab und zieht durch die Lacuna musculorum.

MERKE

Genau wie der N. cutaneus femoris lateralis zieht der *Nervus femoralis* durch die *Lacuna musculorum* während der *Ramus femoralis* des N. genitofemoralis zusammen mit A. und V. femoralis durch die *Lacuna vasorum* tritt.



- 1 M. iliacus
- 2 M. pectineus
- 3 M. sartorius
- 4 M. vastus intermedius
- 5 M. vastus lateralis
- 6 Membrana vastoadductoria
- 7 M. rectus femoris
- 8 M. vastus medialis
- 9 M. tibialis anterior
- 10 M. extensor digitorum longus
- 11 M. extensor hallucis longus
- 18 N. fibularis communis mit Aufteilung in:
- 16 N. fibularis profundus mit:
- 12 Nn. digitales dorsales pedis
- 17 N. fibularis superficialis mit:
- 13 N. digitales dorsales pedis
- 14 Nn. cutanei dorsales medialis und intermedius
- 21 N. femoralis mit:
- 22 Rr. cutanei anteriores
- 19 N. saphenus mit:
- 20 R. infrapatellaris
- 15 Rami cutanei cruris mediales
- 23 N. cutaneus femoris lateralis

Abb. 3.11 N. femoralis, N. cutaneus femoris lateralis und N. fibularis communis (s. S. 54) mit ihren Ästen am rechten Bein (Ansicht von ventral)

Danach teilt er sich (in der Fossa iliopectinea) fächerförmig in

- **Rr. musculares** für die Mm. quadriceps femoris (M. rectus femoris, Mm. vastus medialis, lateralis und intermedius), M. sartorius und M. pectineus, der eine Doppelinnervation (s.a. N. obturatorius) erhält.
- **Rr. cutanei anteriores** durchbrechen die Fascia lata und versorgen die Haut auf der Vorderseite des Oberschenkels bis zum Knie.
- **N. saphenus**: Der rein *sensible* N. saphenus zieht zunächst zusammen mit der A. und V. femoralis in den Adduktorenkanal. Er verlässt diesen Kanal aber wieder, indem er seine vordere Begrenzung (Septum intermusculare vastoadductorium) zusammen mit der A. genus descendens in der Mitte durchbricht. Bedeckt vom M. sartorius zieht der N. saphenus zur medialen Seite des Kniegelenks, durchbricht die Faszie, gibt den **R. infrapatellaris** (bogenförmig auf die Vorderfläche der Knieregion) und auf der medialen Unterschenkelseite die **Rr. cutanei cruris mediales** ab. Letztere übernehmen die sensible Versorgung des medialen Unterschenkels inklusive des Innenknöchels.

MERKE

Neben dem M. pectineus (Doppelinnervation mit N. obturatorius, s. o.) innerviert der N. femoralis *motorisch* auch die ventral gelegenen Mm. iliopsoas, quadriceps femoris und sartorius. Über seine *sensiblen* Äste (Rr. cutanei anteriores und N. saphenus) werden die Vorderseite des Oberschenkels, die Knieregion und die mediale Unterschenkelseite versorgt.

3.5.2 Der Plexus sacralis

Der Plexus sacralis (Kreuzbeingeflecht) entsteht durch das Zusammentreten der Rr. anteriores nervi spinalis aus den Segmenten L5–S3 mit Zuflüssen aus L4 (über den Truncus lumbosacralis) und S4. Der **Truncus lumbosacralis** ist ein kräftiger Stamm aus L4 und L5, der die beiden Plexus lumbalis und sacralis zum Plexus lumbosacralis verbindet.

Der Plexus sacralis liegt im kleinen Becken auf der Ventralseite des M. piriformis, bedeckt von Ästen der A. iliaca interna. Die aus dem Plexus hervorge-

henden Nervenstämme ziehen durch die Foramina supra- und infrapiriforme (ober- und unterhalb des M. piriformis) auf die Dorsalseite. Hinzu kommen kleine Rr. musculares zu Muskeln in der Nähe des Plexus: M. piriformis, M. obturatorius internus, Mm. gemelli superior und inferior sowie M. quadratus femoris.

3.5.2.1 Der Nervus ischiadicus und seine Endäste

Dieser dickste Nerv des Körpers verlässt das kleine Becken durch das *Foramen infrapiriforme* und wird (bei Streckstellung des Hüftgelenks) vom unteren Teil des M. gluteus maximus bedeckt (**Abb. 3.12**). Er zieht über die Mm. gemellus superior, obturatorius internus, gemellus inferior und quadratus femoris nach unten zur Rückseite des Oberschenkels. Hier liegt der N. ischiadicus (von dorsal gesehen) auf dem M. adductor magnus und wird proximal vom Caput longum des M. biceps femoris überkreuzt. Distal dieser Kreuzung liegt der N. ischiadicus zwischen den Mm. biceps femoris und semitendinosus.

MERKE

Der N. ischiadicus liegt dorsal der Mm. gemelli, obturatorius internus, quadratus femoris und adductor magnus, jedoch ventral vom Caput longum des M. biceps femoris.

Der N. ischiadicus besteht aus zwei Anteilen bzw. Nerven (N. fibularis communis und N. tibialis), die in der Glutealregion und am Oberschenkel durch eine Bindegewebshülle zum N. ischiadicus zusammengefasst werden. Meist am Übergang vom mittleren zum distalen Drittel des Oberschenkels teilen sich die zwei Anteile des N. ischiadicus zum N. fibularis communis und N. tibialis. Die Höhe der Teilungsstelle variiert erheblich. In Fällen einer hohen Teilung tritt der N. fibularis communis durch den M. piriformis und der N. tibialis durch das Foramen infrapiriforme.

MERKE

Das Caput longum des M. biceps femoris wird vom Tibialisanteil, das Caput breve vom Fibularisanteil des N. ischiadicus innerviert.

Tabelle 3.7

N. ischiadicus am Oberschenkel	
Anteile	versorgte Muskeln
Tibialisanteil	→ M. semimembranosus → M. semitendinosus → Caput longum des M. biceps femoris → M. adductor magnus (zusammen mit N. obturatorius; Doppelinnervation)
Fibularisanteil	→ Caput breve des M. biceps femoris

Der Nervus tibialis

In der Kniekehle setzt der N. tibialis den geraden Verlauf des N. ischiadicus nach kaudal fort. Hier liegt er lateral von den Kniekehlgefäßen (A. und V.

poplitea), die er im unteren Teil der Kniekehle (auf dem M. popliteus) überkreuzt. Der N. tibialis verlässt die Kniekehle (gemeinsam mit der **A. tibialis posterior**) durch den Arcus tendineus m. solei. So gelangt er zwischen die oberflächlichen und tiefen Flexoren des Unterschenkels und zieht lateral der A. tibialis posterior in Richtung Malleolus medialis (Innenknöchel). Hinter dem Malleolus medialis verläuft der Nerv mit der A. tibialis posterior zwischen M. flexor digitorum longus und M. flexor hallucis longus, bedeckt vom Retinaculum musculorum flexorum. Hier spaltet sich der N. tibialis in seine zwei Endäste: **N. plantaris medialis**, der zwischen M. abductor hallucis und M. flexor digitorum brevis

Tabelle 3.8

Äste des N. tibialis	
Äste	innervierte Strukturen
am Unterschenkel: – Rr. musculares – N. cutaneus surae medialis → Verbindung mit dem R. communicans fibularis zum N. suralis (mit weiterer Aufzweigung in Rr. calcanei laterales und N. cutaneus dorsalis lateralis) – N. interosseus cruris	→ M. popliteus → Flexoren am Unterschenkel: – M. triceps surae (M. gastrocnemius: Caput mediale und Caput laterale, M. soleus) – M. plantaris – M. tibialis posterior – M. flexor hallucis longus – M. flexor digitorum longus → Haut am distalen lateralen Wadenbereich → lateraler Fersenbereich → lateraler Fußrand und kleine Zehe → Tibiofibulargelenk → Periost von Tibia und Fibula → Membrana interossea → Syndesmosis tibiofibularis → oberes Sprunggelenk
am Fuß: – Rr. calcanei mediales – N. plantaris medialis (mit Muskelästen sowie weiterer Aufzweigung in Nn. digitales plantares communes und proprii) – N. plantaris lateralis (mit Aufspaltung in R. profundus, der die meisten Muskeläste abgibt und R. superficialis, der sich nochmals in Nn. digitales plantares communes und proprii teilt)	→ Fersenhaut Innervationsmuster ähnelt dem des N. medianus an der Hand: motorisch: → M. abductor hallucis, → M. flexor hallucis brevis, Caput mediale → M. flexor digitorum brevis → Mm. lumbricales I + II sensibel: → plantare Haut der medialen 3 Zehen (und Dorsalfäche deren Endglieder) Innervationsmuster ähnelt dem des N. ulnaris an der Hand: motorisch: → M. abductor digiti minimi → M. flexor digiti minimi → M. opponens digiti minimi → M. quadratus plantae → Mm. interossei plantares und dorsales → Mm. lumbricales III + IV → M. adductor hallucis → M. flexor hallucis brevis, Caput laterale sensibel: → plantare Haut der lateralen 1½ Zehen

liegt und **N. plantaris lateralis**, der zwischen M. flexor digitorum brevis und M. quadratus plantae schräg nach distal-lateral verläuft und sich in einen R. superficialis und einen R. profundus aufspaltet. Letzterer zieht bogenförmig unter den M. flexor digitorum longus (in Begleitung des Arcus plantaris profundus) und dann unter das Caput obliquum des M. adductor hallucis.

In seinem proximalen Verlauf gibt der N. tibialis neben Muskelästen auch sensible Äste ab, deren Verlauf nachfolgend beschrieben ist:

- Der **N. cutaneus surae medialis** geht in der Kniekehle aus dem N. tibialis ab, verläuft in Begleitung der V. saphena parva zwischen den beiden Köpfen des M. gastrocnemius nach unten und durchbohrt die Fascia cruris in der Mitte der Wade. Er verbindet sich mit dem R. communicans fibularis zum **N. suralis**, der hinter den lateralen Knöchel zieht und in seinem weiteren Verlauf die in **Tab. 3.8** aufgeführten Äste bildet.
- Der **N. interosseus cruris** zweigt meist vom Muskelast zum M. popliteus ab und verläuft auf der Rückfläche der Membrana interossea cruris, dann zwischen den Blättern der Membran nach distal zur Malleolengabel.
- Die **Rr. calcanei mediales** sind kleine mediale Äste zur Ferse.

Klinischer Bezug

Läsion des N. tibialis: Kommt es (meist nach Frakturen im Knöchelbereich) zu einer Kompression des N. tibialis (oder seiner Äste: Nn. plantares) hinter dem Malleolus medialis unter dem Retinaculum flexorum, spricht man vom (hinteren) **Tarsaltunnelsyndrom**. Es können schmerzhaftes Missempfindungen oder ein Taubheitsgefühl an der Fußsohle (besonders beim Gehen), eine Druckschmerzhaftigkeit des N. tibialis hinter dem Innenknöchel sowie Paresen mit Atrophie der kleinen Muskeln an der Fußsohle und verminderte Schweißsekretion der darüber gelegenen Haut auftreten.

Die Therapie besteht in einer operativen Freilegung des Nervs mit einer Spaltung des Retinaculum flexorum, sofern die wiederholte Infiltration von Lokalanästhetika nicht zum Erfolg führt.

Ist der N. tibialis weiter proximal geschädigt (im Bereich der Kniekehle), überwiegt infolge des Ausfalls

der Flexoren der Streckertonus. Dadurch kommt es neben den o.g. Symptomen auch zur **Hackenfußstellung**, und der **Zehenstand ist beeinträchtigt**.

Der Nervus fibularis (peroneus) communis

In der Kniekehle verläuft der N. fibularis communis am medialen Rand der Bizeps-femoris-Sehne schräg nach lateral-unten, überkreuzt das Caput laterale des M. gastrocnemius, zieht um das Collum fibulae und in die Fibularisloge (Peroneusloge) ein. Von seinen meist zwei Hautästen in der Kniekehle zieht der **N. cutaneus surae lateralis** in Richtung Malleolus lateralis. Der R. communicans fibularis, der häufig auch aus dem N. cutaneus surae lateralis kommt, zieht (auf dem Caput laterale des M. gastrocnemius) nach unten und verbindet sich mit dem N. cutaneus surae medialis (aus dem N. tibialis), zum N. suralis (**Tab. 3.8**). In der Ursprungsportion des M. fibularis longus teilt sich der N. fibularis communis in seine zwei Endäste, N. fibularis superficialis und N. fibularis profundus (s. **Abb. 3.11**, S. 51):

- Der **N. fibularis superficialis** zieht innerhalb der Fibularisloge distalwärts und gibt hier Muskeläste ab. Im distalen Drittel des Unterschenkels durchbricht er die Fascia cruris und teilt sich in zwei Hautäste zum Fußrücken.
- Der **N. fibularis profundus** durchbricht kurz nach seiner Abzweigung vom N. fibularis communis das Septum intermusculare anterius. So gelangt er in die Extensorenloge, in der er (mit der A. tibialis anterior) abwärts zum Fußrücken verläuft. Am Fußrücken zieht sein sensibler Endast mit der A. dorsalis pedis in Richtung des 1. Zehenzwischenraumes, um dort die einander zugekehrten Seiten der Großzehe und der 2. Zehe zu versorgen.

Klinischer Bezug

Läsionen des N. fibularis: Besonders gefährdet ist der Nerv im proximalen Bereich, wo der N. fibularis communis direkt unter der Haut verläuft. So können Verletzungen nicht nur bei Fibulaköpfchenfrakturen oder Luxationen des Kniegelenks auftreten, sondern auch z. B. durch einen falsch angelegten Gipsverband oder durch die ungeschickte Lagerung eines Bewusstlosen (Druckschädigung). Bei einer hier gelegenen Läsion des **N. fibularis communis** kommt es zum Vollbild

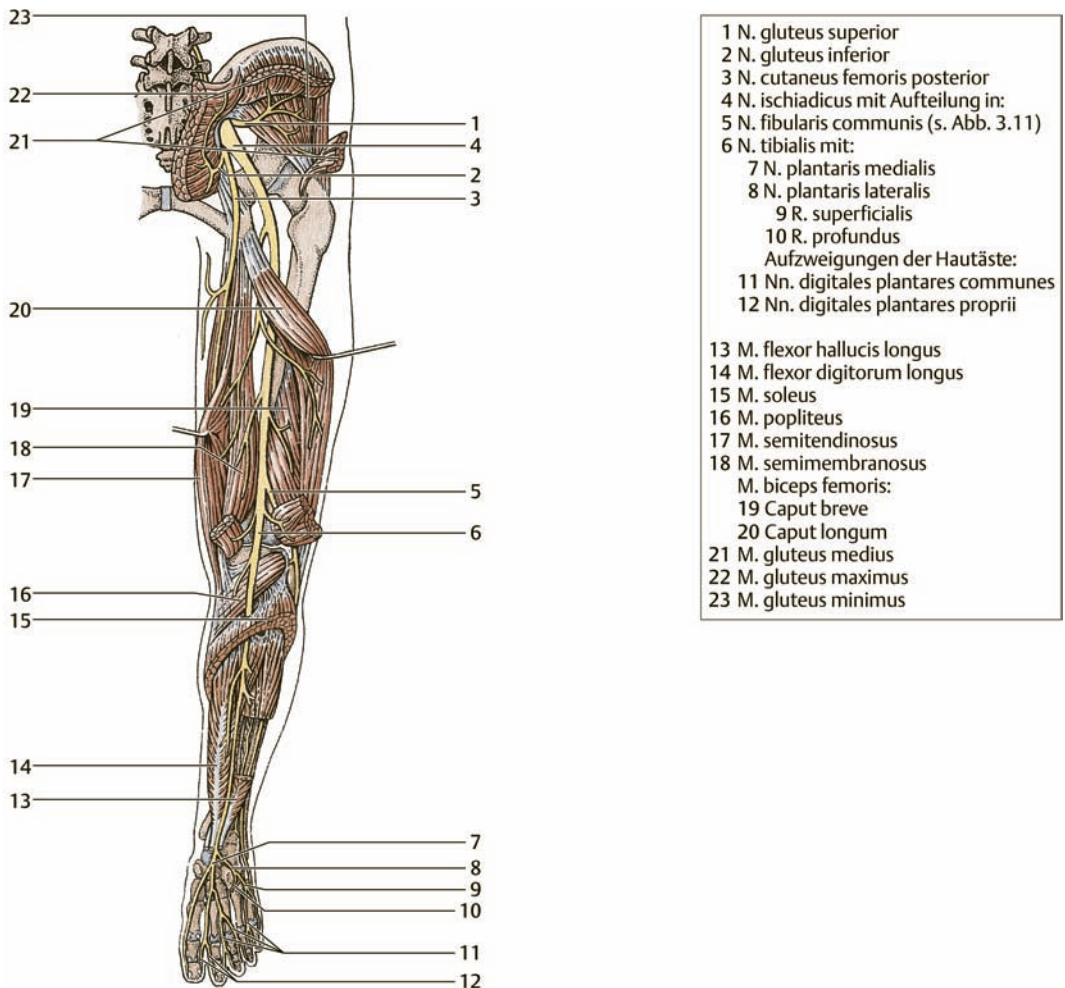


Abb. 3.12 N. ischiadicus, Nn. glutei und N. cutaneus femoris posterior am rechten Bein (Ansicht von dorsal)

der sog. „Fibularis- oder Peroneuslähmung“, bei der neben dem Auftreten von Sensibilitätsstörungen sowohl die vom N. fibularis profundus innervierten Extensoren als auch die durch den N. fibularis superficialis versorgten Muskeln der Fibularisgruppe als wichtige Pronatoren ausfallen. Um die Fußheberschwäche zu kompensieren, muss der Patient bei jedem Schritt das gesamte Bein stark anheben, damit die Fußspitze nicht am Boden schleift („Steppergang“). Aufgrund der fehlenden Pronation durch die Fibularisgruppe ist eine Hebung des lateralen Fußrandes nicht möglich und der Fuß steht in Supinationsstellung.

Bei isolierter Läsion des **N. fibularis profundus** innerhalb der Streckerloge (nicht dehnbarer osteofibröser Kanal), die z.B. durch ein raumforderndes Hämatom nach Unterschenkelfraktur auftreten kann, ist die Pronationsfähigkeit erhalten. Der Steppergang wird begleitet von der charakteristischen Sensibilitätsstörung im ersten Zehenzwischenraum (= sensibles Innervationsgebiet des N. fibularis profundus). Liegt dagegen eine isolierte Schädigung des **N. fibularis superficialis** vor, kommt zu Sensibilitätsstörungen in den durch diesen Nerv versorgten Arealen in Verbindung mit einer Pronationsschwäche (ohne Steppergang).

Tabelle 3.9

Äste des N. fibularis communis

Äste	innervierte Strukturen
– N. cutaneus surae lateralis	→ Haut des lateralen Unterschenkels
– R. communicans fibularis	→ Verbindung mit dem N. cutaneus surae medialis zum N. suralis (s. Tab. 3.8 , S. 53)
– N. fibularis superficialis	
– Rr. musculares	→ Fibularisgruppe am Unterschenkel: Mm. fibulares (peronei) longus und brevis
– Nn. cutanei dorsalis medialis und intermedii (mit weiterer Verzweigung in Nn. digitales dorsales pedis)	→ Haut am medialen Fußrücken und medialen Fußrand → Haut im mittleren und lateralen Bereich des Fußrückens → Zehenrücken ohne Endglieder
– N. fibularis profundus	
– Rr. musculares	→ Extensoren am Unterschenkel und am Fußrücken: – M. tibialis anterior – M. extensor digitorum longus – M. extensor hallucis longus – M. fibularis (peroneus) tertius – M. extensor digitorum brevis – M. extensor hallucis brevis
– Nn. digitales dorsales pedis	→ Haut der einander zugekehrten Seiten der Großzehe und der 2. Zehe

3.5.2.2 Die Nervi glutei superior und inferior sowie der N. cutaneus femoris posterior

Der **N. gluteus superior** verlässt das Becken durch das *Foramen suprapiriforme* und gelangt zwischen Mm. gluteus medius und minimus. Ein Nervenast zieht zum M. tensor fasciae latae. Diese drei Muskeln werden vom N. gluteus superior innerviert (s. **Abb. 3.12**, S. 55).

Der **N. gluteus inferior** tritt durch das *Foramen infrapiriforme* aus dem Becken; er fächert sich dann auf und strahlt in den M. gluteus maximus ein, den er innerviert (s. **Abb. 3.12**, S. 55).

Klinischer Bezug

Läsion der Nn. glutei: Mögliche Ursachen für eine Schädigung der Glutealnerven sind z. B. direkte Traumen oder fehlerhafte Injektionen (Spritzenlähmungen).

Die Symptomatik von Verletzungen des oberen oder unteren Glutealnervs unterscheidet sich entsprechend der unterschiedlichen Hauptfunktion der jeweils inner-vierten Muskeln:

- Durch die Haltefunktion der Hüftabduktoren (ins-besondere Mm. glutei medius und minimus) wird das Becken sowohl beim Gehen als auch beim Stand auf einem Bein waagerecht gehalten. Sind die Muskeln durch Schädigung des **N. gluteus su-perior** gelähmt, so sinkt das Becken beim Stand auf dem „kranken Bein“ zur gesunden Seite ab (**Trendelenburg-Zeichen**). Dementsprechend sinkt

beim Gehen das Becken zur Seite des (gesunden) Spielbeins, wenn eine Lähmung auf der Standbein-seite vorliegt.

- Fällt bei einer Läsion des **N. gluteus inferior** der M. gluteus maximus aus, tritt eine erhebliche Streck-schwäche der Hüfte auf, was sich z. B. in der Unfähigkeit äußert, eine Treppenstufe zu erstei-gen.

Der (rein sensible) **N. cutaneus femoris posterior** verlässt das Becken ebenfalls durch das *Foramen infrapiriforme* (s. **Abb. 3.12**, S. 55) und zieht nach unten an den Unterrand des M. gluteus maximus. Er gibt hier ab:

- Nn. clunium inferiores (zum unteren Bereich des Gesäßes)
- Nn. perineales (zur Dammregion).

Der restliche Teil des Nervs versorgt die Haut auf der Rückseite des Oberschenkels.

3.5.2.3 Die Nervi pudendus und coccygeus

Der **N. pudendus** verlässt das Becken durch das *Foramen infrapiriforme*, zieht um die Spina ischiadica und das Lig. sacrospinale, um durch das Foramen ischiadicum minus wieder zurück in das Becken zu gelangen. Hier verläuft der Nerv (zusammen mit der A. pudenda) in der lateralen Wand der Fossa ischioanalis auf dem M. obturator internus bedeckt von einer Faszienduplikatur des Muskels (= **Alcock-Kanal**). Der Nerv zweigt sich auf in:

- Nn. anales (rectales) inferiores: zum M. sphincter ani externus und zur Haut der Perinealregion
- Nn. perineales: zu Haut und Muskeln des Dammes (M. transversus perinei, M. bulbospongiosus, M. ischiocavernosus), sowie zur Haut der Dorsalseite des Scrotum (Nn. scrotales posteriores) bzw. der Labien (Nn. labiales posteriores)
- N. dorsalis penis (Endast): zur Haut des Penis (bzw. Clitoris) und zum M. transversus perinei profundus.

Der **N. coccygeus** tritt als letzter Spinalnerv zwischen Os coccygis und Os sacrum aus. Er bildet mit Ästen aus dem 4. und 5. Sakralnerv ein kleines Geflecht, den Plexus coccygeus. Aus diesem Plexus geht der N. anococcygeus hervor, der die Haut zwischen Steißbein und Anus versorgt.



Check-up

- ✓ Wiederholen Sie, was der Truncus lumbosacralis ist.
- ✓ Rekapitulieren Sie die Doppelinnervationen am Oberschenkel (M. adductor magnus, M. pectineus).
- ✓ Führen Sie sich nochmals die häufig geprüften typischen Ausfallserscheinungen vor Augen, die bei Läsion folgender Nerven auftreten: N. gluteus superior, N. tibialis, N. fibularis.

3.6 Die Hirnnerven



Lerncoach

Die Hirnnerven werden nach der Reihenfolge ihres Austritts aus dem Gehirn von rostral (= vorne-oben) nach kaudal mit römischen Ziffern durchnummeriert. In diesem Kapitel lernen Sie den peripheren Verlauf der Hirnnerven kennen. Die Austrittsstellen aus dem Gehirn können Sie auf S. 112 nachlesen; über ihre Kerngebiete im Hirnstamm erhalten Sie die notwendigen Informationen ab S. 108.

3.6.1 Die Funktion, Faserqualitäten und Ganglien der Hirnnerven

Die einzelnen Hirnnerven führen unterschiedlich viele Faserqualitäten, die ihre jeweiligen Funktionen bedingen (Tab. 3.10). Die 7 Faserqualitäten, die im Bezug auf die Hirnnerven unterschieden werden, entsprechen der funktionellen Einteilung in Kerngruppen (s. S. 108). Das Innervationsgebiet der Hirnnerven liegt vorwiegend im Kopf-Hals-Bereich und dehnt sich nur beim N. vagus (X) auf Organe im Brust- und Bauchbereich aus.

Eine Ausnahme hinsichtlich Anordnung und Aufbau, die nicht peripheren Nerven (s. S. 16) entsprechen, bilden die Hirnnerven I (N. olfactorius) und II (N. opticus). Entwicklungsgeschichtlich sind sie Ausstülpungen des Prosencephalon und werden von Gliazellen des ZNS und Meningen umgeben. Somit sind sie in Tab. 3.10 sowie im weiteren Kapitel nur der Vollständigkeit halber mit aufgeführt während ihre Bedeutung und ihr Verlauf innerhalb des jeweiligen funktionellen Systems beschrieben ist (s. S. 218 und 210).

Die Lage der jeweils zugehörigen Neurone unterscheidet sich zwischen efferenten und afferenten Fasern: Während die Perikaryen der Efferenzen die Ursprungskerne innerhalb des Hirnstamms bilden (s. S. 109), liegen die Zellkörper der Afferenzen überwiegend in **sensiblen/sensorischen Hirnnervenganglien** (z.B. Ggl. trigeminale) außerhalb des Hirnstamms, d.h. sie zählen zum PNS. Damit entsprechen letztere den Spinalganglien (pseudounipolare Neurone, s. S. 17). Die zentralen Fortsätze der in den sensiblen/sensorischen Hirnnervenganglien gelegenen Neurone projizieren zu Endkernen im Hirnstamm (s. S. 111).

Zu unterscheiden von diesen sensiblen Hirnnervenganglien, in denen keine Umschaltung stattfindet, sind die **Kopfganglien**, in denen **parasympathische** (= allgemein viszeroefferente) Fasern der Hirnnerven III, VII und IX von präganglionären auf (multipolare) postganglionäre Neurone umgeschaltet werden (s.a. S. 17). Daneben ziehen jedoch durch jedes dieser Ganglien auch sympathische und sensible/sensorische Fasern hindurch, weshalb man jeweils drei Wurzeln (Radices) unterscheiden kann (Tab. 3.11).

Tabelle 3.10

Faserqualitäten und Funktionen der Hirnnerven

Hirnnerv	Faserqualität	Funktion
I N. olfactorius	speziell viszeroafferent	Leitung der Geruchsinformation (s. S. 219)
II N. opticus	speziell somatoafferent	Leitung visueller Informationen (s. S. 210)
III N. oculomotorius	allgemein somatoafferent	Augen- und Lidbewegungen durch motorische Innervation folgender Muskeln: – M. rectus superior – M. rectus medius – M. rectus inferior – M. obliquus inferior – M. levator palpebrae superioris
	speziell viszeroafferent	motorische Innervation folgender „innerer“ Augenmuskeln (nach Umschaltung im Ggl. ciliare): – M. sphincter pupillae → Miosis (Verengung der Pupille) – M. ciliaris → u. a. Akkommodation (Naheinstellung der Linse)
IV N. trochlearis	allgemein somatoafferent	Augenbewegungen über den M. obliquus superior
V N. trigeminus mit 3 Hauptästen - V ₁ N. ophthalmicus - V ₂ N. maxillaris - V ₃ N. mandibularis	allgemein somatoafferent (Radix sensoria)	sensible Innervation der Haut und Schleimhaut im Gesichtsbereich (inkl. vordere 2/3 der Zunge), Hornhaut und Großteile der Dura mater
	speziell viszeroafferent (Radix motoria)	motorische Innervation der Kaumuskulatur sowie der Mm. tensor tympani, tensor veli palatini, mylohyoideus und Venter anterior des M. digastricus
VI N. abducens	allgemein somatoafferent	Augenbewegung über den M. rectus lateralis
VII N. facialis	speziell viszeroafferent (Fazialisanteil)	motorische Innervation der mimischen Muskulatur sowie M. stapedius, Venter posterior des M. digastricus und M. stylohyoideus
	allgemein viszeroafferent (Intermediusanteil)	parasympathische Innervation folgender Drüsen: – v. a. Gl. lacrimalis (nach Umschaltung der Fasern im Ggl. pterygopalatinum) – Speicheldrüsen mit Ausnahme der Gl. parotidea (nach Umschaltung im Ggl. submandibulare)
	speziell viszeroafferent (Intermediusanteil)	Geschmacksinformationen aus den vorderen 2/3 der Zunge
VIII N. vestibulo-cochlearis	speziell somatoafferent	Leitung von Informationen aus dem Gleichgewichts- und Hörorgan des Innenohrs
IX N. glossopharyngeus	allgemein viszeroafferent	parasympathische Innervation v. a. der Glandula parotidea = Ohrspeicheldrüse
	speziell viszeroafferent	motorische Innervation der (oberen) Schlundmuskulatur
	speziell viszeroafferent	Geschmacksinformationen aus dem hinteren 1/3 der Zunge
	allgemein viszeroafferent	Informationen von Presso- und Chemorezeptoren aus dem Sinus caroticus bzw. Glomus caroticum
	allgemein somatoafferent	sensible Innervation der Schleimhaut von Paukenhöhle, Tuba auditiva und hinterem 1/3 der Zunge
X N. vagus	allgemein viszeroafferent	parasympathische Innervation glatter Muskulatur und Drüsen der Hals-, Brust- und Bauchorgane bis zum Cannon-Böhm-Punkt*
	speziell viszeroafferent (Fasern stammen z. T. aus dem N. accessorius)	motorische Innervation der Kehlkopf- und (unteren) Schlundmuskulatur
	speziell viszeroafferent	Geschmacksinformationen aus dem Bereich der Epiglottis und Übergang zum Zungengrund
	allgemein viszeroafferent	sensible Innervation der Schleimhaut im Bereich des Kehlkopfes und unteren Rachens sowie sonstige Brust- und Bauchorgane bis zum Cannon-Böhm-Punkt*
	allgemein somatoafferent	sensible Innervation von – Dura mater der hinteren Schädelgrube – äußerem Gehörgang
XI N. accessorius	allgemein somatoafferent	motorische Innervation von – M. sternocleidomastoideus und – M. trapezius
	speziell viszeroafferent (nur im kranialen Anteil, dann Anlagerung an N. vagus)	siehe N. vagus
XII N. hypoglossus	allgemein somatoafferent	Zungenmuskulatur

*Als Cannon-Böhm-Punkt wird das Gebiet etwas oral der linken Kolonflexur bezeichnet, an dem die Grenze zwischen den Innervationsgebieten des kranialen und sakralen Parasympathikus liegt (siehe S. 226).

Tabelle 3.11

Kopfganglien				
Ganglion mit Morphologie und Lage	Innervationsgebiet*	Radix parasympathica	Radix sympathica	Radix sensoria
allgemein: Zusammenlagerung multipolarer postganglionärer parasympathischer Neurone	→ Drüsen im Kopfbereich	präganglionäre parasympathische Fasern der Hirnnerven III, VII und IX	postganglionäre sympathische Fasern aus den periarteriellen Plexus, die sich nach Umschaltung im Halsgrenzstrang bilden	Afferenzen, deren pseudounipolare Neurone in den sensiblen Hirnnervenganglien liegen
Ggl. ciliare – ca. 2 mm – hinten lateral am N. opticus (im Fettgewebe der Orbita)	→ Mm. ciliaris und sphincter pupillae	R. ad ganglion ciliare aus dem R. inferior des N. oculomotorius (III)	Fasern** aus dem Plexus caroticus internus zu Gefäßen der Aderhaut	Fasern** aus dem Augapfel (Bulbus oculi) zum N. nasociliaris (aus V ₁)
Ggl. pterygopalatinum – 4–5 mm – seitlich des Foramen sphenopalatinum in der Fossa pterygopalatina	→ Gl. lacrimalis, Gl. nasales und palatinae	N. petrosus major*** aus dem Intermediusanteil des N. facialis (VII)	N. petrosus profundus*** aus dem Plexus caroticus internus	Rr. ganglionares des N. maxillaris (V ₂)
Ggl. submandibulare – variabel – am N. lingualis, meist oberhalb der Gl. submandibularis	→ Gl. submandibularis und sublingualis	Fasern der Chorda tympani aus dem Intermediusanteil des N. facialis (VII)	Fasern aus dem Gefäßplexus um die A. facialis	Rr. ganglionares des N. mandibularis (V ₃)
Ggl. oticum – platt – dicht unter dem Foramen ovale, medial des N. mandibularis	→ Gl. parotidea	N. petrosus minor aus dem N. tympanicus des N. glossopharyngeus (IX)	Fasern aus dem Gefäßplexus der A. meningea media	Rr. ganglionares des N. mandibularis (V ₃)

* bezieht sich auf die postganglionären parasympathischen Fasern, deren Perikarya im jeweiligen Kopfganglion liegen
** ziehen zusammen mit den postganglionären parasympathischen Fasern als Nn. ciliares breves aus dem Ggl. ciliare heraus
*** bilden zusammen den N. canalis pterygoidei im gleichnamigen Kanal an der Wurzel des Flügelfortsatzes



Wenn Sie sich an dieser Stelle einmal das Prinzip dieser Kopfganglien klar machen, wird es Ihnen beim Lernen der einzelnen Hirnnerven leichter fallen zu verstehen, ob deren Fasern zu den betreffenden Ganglien dort umgeschaltet werden oder lediglich hindurchziehen.

MERKE

Eine Umschaltung von prä- auf postganglionäre Fasern findet in den Kopfganglien stets *nur* für die parasympathischen Fasern der Hirnnerven III (Ggl. ciliare), VII (Ggl. pterygopalatinum; Ggl. submandibulare) und IX (Ggl. oticum) statt (Abb. 3.13). Sympathische und sensible/sensorische Fasern ziehen lediglich durch das jeweilige Ganglion hindurch.

3.6.2 Der Verlauf der Hirnnerven III–XII

Nach Austritt aus dem Hirnstamm haben die Hirnnerven III–XII eine unterschiedlich lange Verlaufsstrecke durch den Subarachnoidalraum, bis sie in die Dura mater eintreten. Während bei manchen Hirnnerven der Durchtritt durch die Dura (s. Abb. 3.14) und der Austritt aus dem Schädel nahezu identisch ist (z.B. N. mandibularis), weisen andere Hirnnerven einen ausgeprägten intra- oder extraduralen Verlauf auf (z.B. N. abducens), bevor sie durch die knöcherne Schädelbasis treten.

3.6.3 Der Nervus oculomotorius (III)

Der N. oculomotorius zur Innervation der meisten äußeren Augenmuskeln verläuft zwischen A. superior cerebelli und A. cerebri posterior zur Seite und liegt dann lateral der A. communicans posterior. Am Processus clinoideus posterior des Os sphenoidale durchsetzt der Nerv die Dura und verläuft

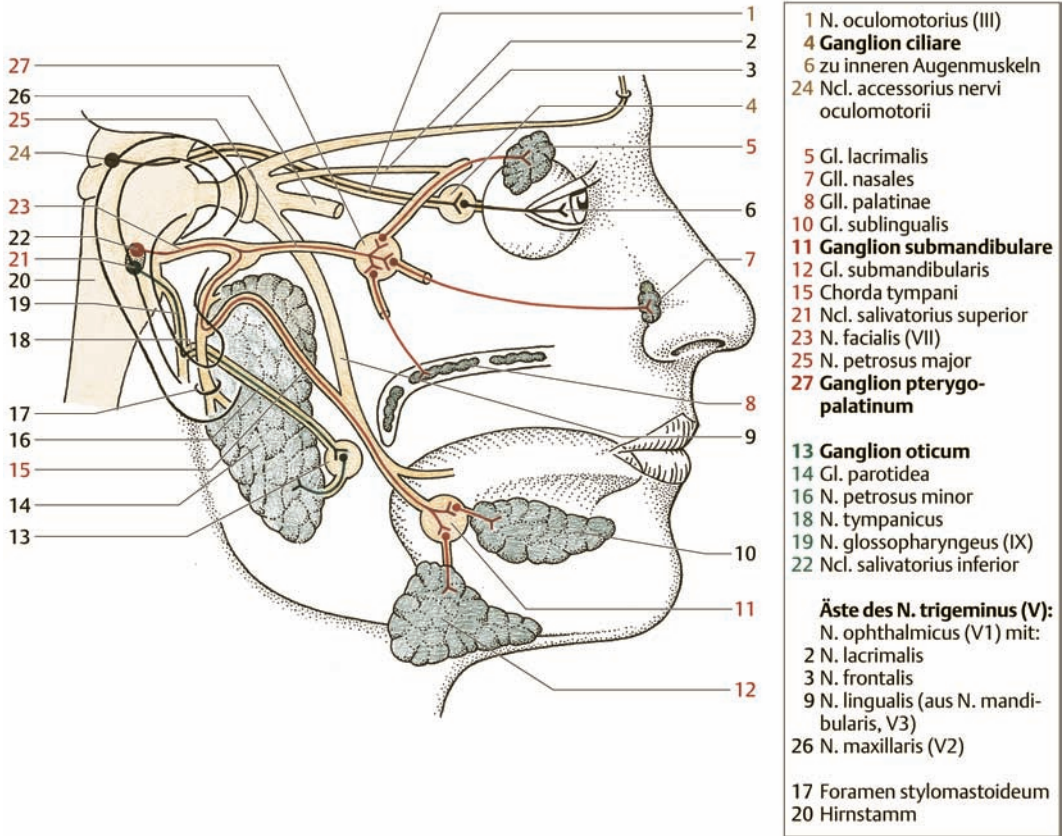


Abb. 3.13 Parasympathische Fasern mit Umschaltung in den Kopfganglien und Innervationsgebiet

oben in der Seitenwand des Sinus cavernosus zur Fissura orbitalis superior (s. **Abb. 3.14**). Hier liegt er medial vom N. trochlearis, dann zieht er in den Anulus tendineus und teilt sich in zwei Äste unterschiedlichen Kalibers:

- Der dünnere **R. superior** innerviert den M. levator palpebrae superioris und den M. rectus superior.
- Der kräftigere **R. inferior** gibt unterhalb des N. opticus Äste zum M. rectus medialis, M. rectus inferior und M. obliquus inferior ab. Die ebenfalls abzweigenden parasympathischen Fasern bilden den nach seinem weiteren Verlauf benannten R. ad ganglion ciliare. Sie innervieren die Mm. ciliaris und sphincter pupillae.

Klinischer Bezug

Okulomotoriusparese: Bei einer Schädigung aller Okulomotoriusfasern sind sowohl die äußeren durch ihn innervierten Augenmuskeln (Ophthalmoplegia externa) gelähmt als auch die inneren (Ophthalmoplegia interna). Man spricht dann von kompletter Okulomotoriusparese.

Unter einer **Ophthalmoplegia externa** versteht man eine Ptosis (Ausfall des M. levator palpebrae superioris) und ein nach außen und unten abgelenktes Auge (durch die Wirkung der von den intakten Nn. trochlearis und abducens innervierten Mm. obliquus superior und rectus lateralis). Aufgrund der Ptosis sieht der Patient nur monokular, weshalb Doppelbilder erst bei Anheben des Augenlids auftreten.

Unter **Ophthalmoplegia interna** fasst man die weite, nicht auf Licht reagierende Pupille (Lähmung des M.

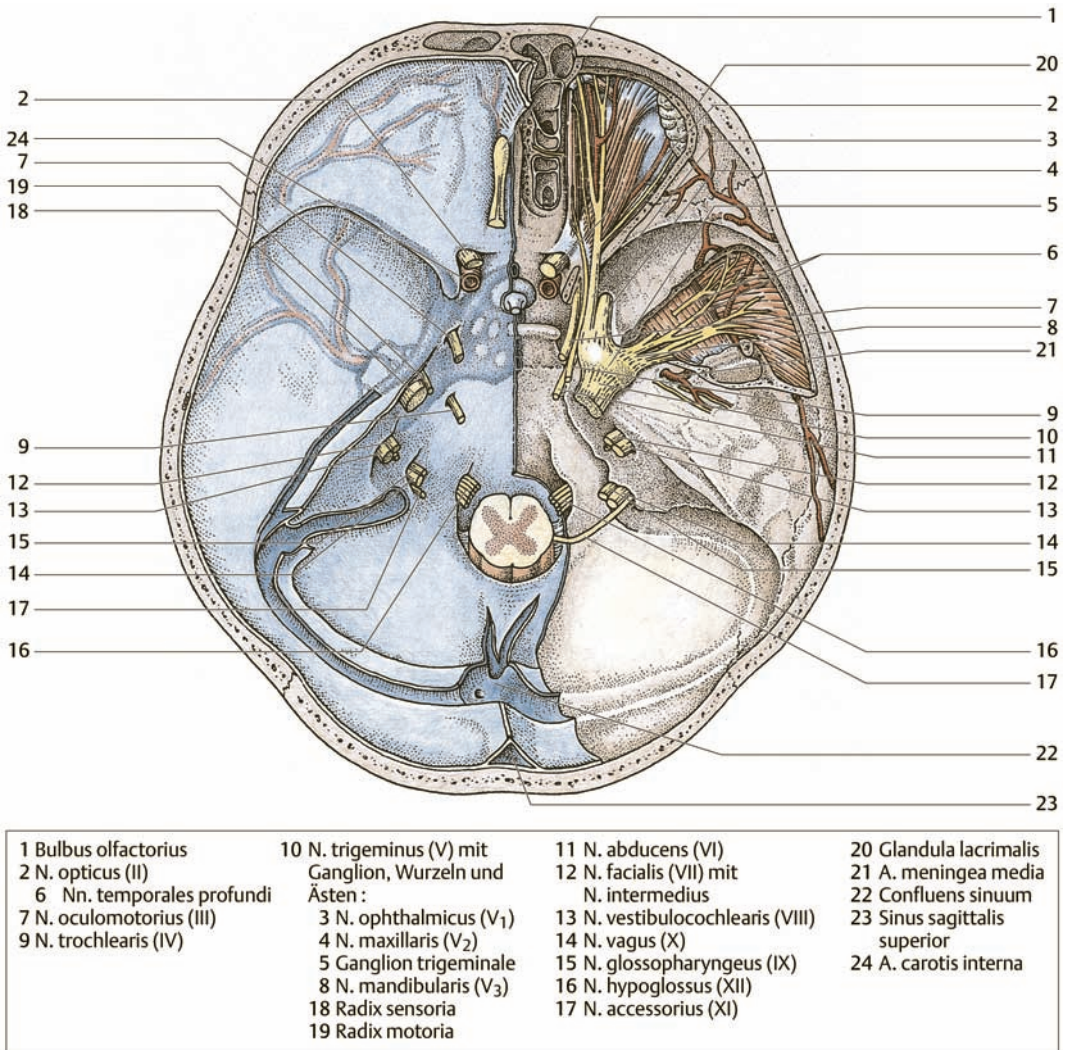


Abb. 3.14 Hirnnerven an der inneren Schädelbasis

sphincter pupillae) und die Unmöglichkeit der Akkommodation (Lähmung des M. ciliaris) zusammen.

Da die parasympathischen Fasern innerhalb des Nervs zunächst außen, weiter peripher eher innen verlaufen, können bei Nervenkompression je nach Lokalisation auch Teilschädigungen auftreten.

Entsprechend seines intrakraniellen Verlaufs gibt es vielfältige Ursachen der Okulomotoriusparese, wie z.B. Schädigungen innerhalb des Subarachnoidalraums (bei basaler Meningitis oder Aneurysma der A. communicans posterior) oder weiter distal (z.B. bei Sinus-Cavernosus-Thrombose, Hypophysentumor mit

parasellarer Ausdehnung oder Sinusitis sphenoidalis). Darüber hinaus sind auch Schädigungen innerhalb des Hirnstamms möglich (während des intrazerebralen Faserverlaufs oder nukleär, d. h. im Bereich des mesenzephalen Kerngebiets).

3.6.4 Der Nervus trochlearis (IV)

Der N. trochlearis ist vom Kaliber her der schwächste Hirnnerv und verläuft nach seinem dorsalen Austritt in der Cisterna ambiens um die Hirnschenkel herum (zwischen den Aa. cerebri po-

sterior und cerebelli superior). In der Nähe des Processus posterior tritt er in die Dura des Sinus cavernosus ein und zieht in dessen Seitenwand nach vorne (s. Abb. 3.14, S. 61).

Er tritt durch die Fissura orbitalis superior in die Augenhöhle ein und verläuft hier über den Anulus tendineus communis hinweg zum M. obliquus superior, den er innerviert.

3.6.5 Der Nervus trigeminus (V)

In der Nähe der Spitze der Felsenbeinpyramide durchbricht der N. trigeminus die Dura mater.

Die **Radix sensoria** (= Portio major, Gesamtheit aller sensiblen Trigeminusfasern) geht hier in das halbmondförmige **Ganglion trigeminale** (Gasseri) über, das über der A. carotis interna liegt. Zwischen der Arterie und dem Ganglion liegt eine Lamelle aus Knochen oder Bindegewebe. Dieses sensible Hirnnervenganglion liegt in einer Ausstülpung des Subarachnoidalraums in einer Duratasche der mittleren Schädelgrube. An der konvexen Seite des Ganglions ziehen die drei Hauptäste heraus (s. Abb. 3.14, S. 61): N. ophthalmicus (V₁), N. maxillaris (V₂) und N. mandibularis (V₃).

Die **Radix motoria** (= Portio minor, Gesamtheit aller motorischen Trigeminusfasern) gelangt an die Unterseite des Ganglions und schließt sich dem N. mandibularis an.

3.6.5.1 Der Nervus ophthalmicus (V₁)

Nach Verlassen des Ganglion trigeminale zieht der N. ophthalmicus in der seitlichen Wand des Sinus cavernosus nach vorne. Beim Eintritt in die *Fissura orbitalis superior* teilt sich der Nerv in drei Äste (N. nasociliaris, N. frontalis und N. lacrimalis, Tab. 3.12).

Klinischer Bezug

Kornealreflex: Fasern des N. ophthalmicus bilden den afferenten Schenkel des Kornealreflexes. Dieser wird ausgelöst durch Reizung der Cornea (Hornhaut des Auges, s. S. 245). Berührt man sie z.B. mit einem Wattetupfer, führt dies beim Gesunden zur Kontraktion des M. orbicularis oculi (→ Lidschluss), der durch Fasern des N. facialis (efferenter Schenkel) innerviert wird.

3.6.5.2 Der Nervus maxillaris (V₂)

Nach Verlassen des Ganglion trigeminale zieht der N. maxillaris (Abb. 3.15) unten in der Seitenwand des Sinus cavernosus zum Foramen rotundum und gelangt durch dieses Loch in die *Fossa pterygopalatina* (Flügelgaumengrube). Während seines Verlaufs gibt er die in Tab. 3.13 aufgeführten Äste ab.

3.6.5.3 Der Nervus mandibularis (V₃)

Der N. mandibularis (Abb. 3.16, S. 66) nimmt die gesamte Radix motoria auf und zieht durch das Foramen ovale in die *Fossa infratemporalis* (medial des M. pterygoideus lateralis). Seine Äste sind Tab. 3.14 zu entnehmen.

MERKE

Mit verschiedenen Unterästen des N. trigeminus verlaufen streckenweise postganglionäre parasympathische Fasern. Diese stammen aus Ganglien, in denen die Fasern anderer Hirnnerven (III, VII und IX) umgeschaltet werden, und lagern sich den Trigeminusästen lediglich an (rein topographische Beziehung). Der N. trigeminus selbst führt neben einigen motorischen Fasern (V₃, vorwiegend zur Kaumuskulatur) viele sensible Fasern für die Gesicht. Sie verteilen sich auf die drei Trigeminushauptäste, deren Versorgungsgebiete die Abbildung 3.17 zusammenfasst.

Klinischer Bezug

Trigeminusneuralgie: Neuralgien sind Schmerzen mit fast unerträglicher Intensität im Ausbreitungsgebiet eines peripheren Nervs. Hierbei treten blitzartig einschießende Schmerzen (für Sekunden bis wenige Minuten) im Versorgungsgebiet eines Trigeminusastes (meist V₂ oder V₃) auf. Sie dauern zwar nur wenige Sekunden, können sich aber bis zu 100mal täglich wiederholen. Gleichzeitig kann es zur Kontraktion der mimischen Muskulatur und zu vegetativen Reizerscheinungen (z. B. Rötung) im betroffenen Areal kommen. Es wird vermutet, dass Erregungen aus Berührungsfasern auf Schmerzfasern (in der Nähe des Ganglions) aufgrund zerstörter Myelinscheiden überspringen. Die Lädierung der Myelinscheiden wird wahrscheinlich durch eine chronische Kompression durch benachbarte Gefäße hervorgerufen. Betroffen sind häufig Frauen über 50 Jahren.

Tabelle 3.12

Äste des N. ophthalmicus (V₁)

Äste mit Höhe ihres Abgangs	Verlauf (•) und Innervation (→)
in der Wand des Sinus cavernosus: R. meningeus recurrens (R. tentorius)	→ Tentorium cerebelli → Falx cerebri
in der Fissura orbitalis superior: N. nasociliaris	• tritt durch den Anulus tendineus, überkreuzt den N. opticus und gelangt so zur medialen Wand der Orbita → Cornea, Iris, Corpus ciliare, Choroidea und Tunica conjunctivae bulbi
– R. communicans cum ganglio ciliari (= Radix sensoria ganglii ciliaris) mit Bildung der Nn. ciliares breves (nach Passage des Ganglions, s. S. 59) – Nn. ciliares longi* (zusammen mit Nn. ciliares breves) – N. ethmoidalis posterior – R. meningeus anterior – N. ethmoidalis anterior – Rr. nasales laterales und mediales – R. nasalis externus – N. infratrochlearis – Rr. palpebrales	• durch das <i>Foramen ethmoidale posterius</i> → Schleimhaut der hinteren Siebbeinzellen und der Keilbeinhöhle → vorderer Anteil der vorderen Schädelgrube • durch das <i>Foramen ethmoidale anterius</i> in die vordere Schädelgrube → vordere Siebbeinzellen • durch die <i>Lamina cribrosa</i> in die Nasenhöhle, wo die Aufspaltung in laterale und mediale Äste erfolgt → Nasenschleimhaut → Haut des Nasenrückens und der Nasenspitze • unter der Trochlea → Haut am medialen Augenwinkel → Tränensack → Caruncula lacrimalis → Ober- und Unterlid
in der Fissura orbitalis superior: N. frontalis (stärkster Ast des N. ophthalmicus)	• auf dem M. levator palpebrae superioris • über die Trochlea → Haut und Bindehaut am medialen Augenwinkel
– N. supratrochlearis – R. lateralis – R. medialis	• durch die <i>Incisura supraorbitalis</i> oder das <i>Foramen supraorbitale</i> → Stirnhaut • durch die <i>Incisura frontalis</i> oder das <i>Foramen frontale</i>
in der Fissura orbitalis superior: N. lacrimalis**	• oben an der lateralen Wand der Orbita (über den M. rectus lateralis) → Tränendrüse → Haut und Bindehaut am lateralen Augenwinkel

*Die Nn. ciliares longi enthalten auch postganglionäre sympathische Fasern aus dem Plexus caroticus internus, die über den N. ophthalmicus und den N. nasociliaris zu den Nn. ciliares longi gelangen und den M. dilatator pupillae innervieren.
**Der N. lacrimalis nimmt über einen Verbindungsast (R. communicans cum nervo zygomatico) postganglionäre parasympathische Fasern auf. Sie stammen aus dem Ganglion pterygopalatinum und gelangen über Anlagerung an sensible Unteräste des N. trigeminus (N. zygomaticus aus V₂ und anschließend N. lacrimalis aus V₁) zur Tränendrüse.

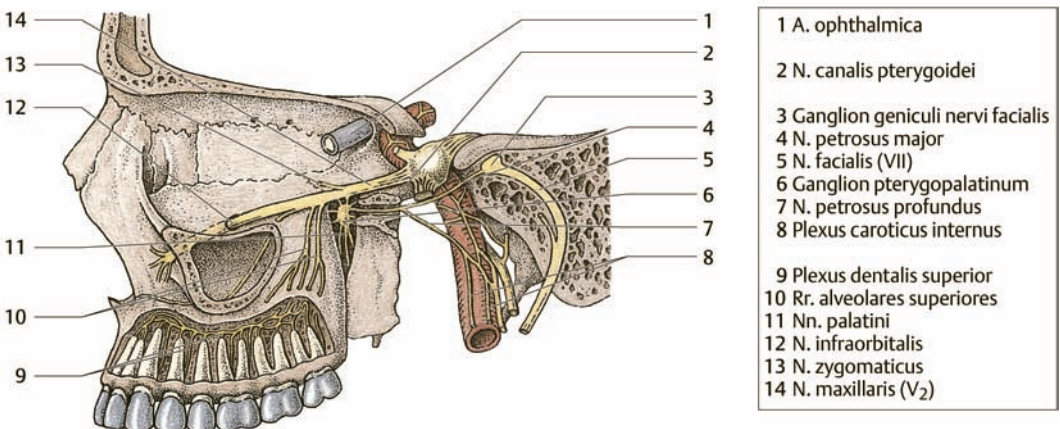


Abb. 3.15 N. maxillaris mit Ästen und angelagertem Ganglion pterygopalatinum, das funktionell dem N. facialis zuzuordnen ist (s. S. 66)

Tabelle 3.13

Äste des N. maxillaris (V ₂)	
Äste mit Höhe ihres Abgangs	Verlauf (•) und Innervation (→)
<i>vor dem Foramen rotundum:</i>	
– R. meningeus	→ Dura mater der mittleren Schädelgrube
<i>in der Fossa pterygopalatina:</i>	
– Rr. ganglionares	• zum Ganglion pterygopalatinum, durch das sie lediglich hindurchziehen
<i>nach Passage des Ggl. pterygopalatinum:</i>	
– Rr. orbitales*	• durch die <i>Fissura orbitalis inferior</i> und durch die Orbitawand → hintere Siebbeinzellen und Keilbeinhöhle
– Rr. nasales posteriores superiores laterales und mediales*	• durch das <i>Foramen sphenopalatinum</i> → obere und mittlere Nasenmuschel → oberer Teil des Nasenseptums
– N. nasopalatinus*	• unter der Schleimhaut des Septums nach vorne ziehend • durch den <i>Canalis incisivus</i> → vorderes Drittel der Gaumenschleimhaut → Zahnfleisch der Schneidezähne
– N. palatinus major*	• durch den <i>Canalis palatinus major</i> sowie das gleichnamige Foramen → Schleimhaut des harten Gaumens
– Rr. nasales posteriores inferiores	→ untere Nasenmuschel
– Nn. palatini minores*	• durch die <i>Canales palatini minores</i> sowie gleichnamige Foramina → Schleimhaut des weichen Gaumens und Tonsilla palatina (über Rr. tonsillares)
– N. zygomaticus	• durch die <i>Fissura orbitalis inferior</i> von der Flügelgaumengrube an die laterale Orbitawand mit Verbindung zum N. communicans cum nervo zygomatico des N. lacrimalis aus (s. o.) • dann durch das <i>Foramen zygomaticoorbitale</i> Eintritt in das von Knochenkanälchen durchzogene Os zygomaticum und Aufteilung in die beiden Endäste
– R. zygomaticofacialis	• durch das <i>Foramen zygomaticofaciale</i> → Haut über dem Jochbein.
– R. zygomaticotemporalis	• durch das <i>Foramen zygomaticotemporalis</i> → Haut über der Schläfe
– N. infraorbitalis (kräftiger Endast)	• durch die <i>Fissura orbitalis inferior</i> zum Sulcus und <i>Canalis infraorbitalis</i> am Boden der Orbita • Austritt am <i>Foramen infraorbitale</i> • Bildung des Plexus dentalis superior → Zähne und das Zahnfleisch des Oberkiefers, → angrenzende Wangenschleimhaut → Kieferhöhle (durch Rr. alveolares superiores posteriores)
– Nn. alveolares superiores	
<i>nach Austritt aus dem Foramen infraorbitale:</i>	
– Rr. palpebrales inferiores	→ Unterlid
– Rr. nasales externi	→ äußere Haut der Nasenflügel
– Rr. nasales interni	→ Haut des Nasenvorhofs
– Rr. labiales superiores	→ Haut und Schleimhaut der Oberlippe
*Diese Äste kommen vom Ganglion pterygopalatinum und enthalten neben sensiblen trigeminalen Fasern aus den Rr. ganglionares auch postganglionäre parasympathische Fasern, deren präganglionären Anteil Fasern des N. facialis bzw. seines Intermedius-Anteils bilden.	

Beim Versagen einer medikamentösen Therapie kann eine Thermokoagulation der betroffenen Trigeminasstfasern im Ganglion trigeminale durchgeführt werden, das über das Foramen ovale gut erreicht werden kann. In Folge des Eingriffs tritt eine Sensibilitätsstörung auf, was allerdings von den schmerzgeplagten Patienten gern in Kauf genommen wird.

Bei der Trigemineuralgie oder anderen Reizzuständen (z.B. Sinusitis) im Innervationsgebiet der drei Hauptäste besteht eine Druckschmerzhaftigkeit an den Trigeminus-Druckpunkten (NAP = Nervenaustrittspunkte im Gesichtsschädel):

- Foramen supraorbitale: für N. supraorbitalis (aus V₁)
- Foramen infraorbitale: für N. infraorbitalis (aus V₂)
- Foramen mentale: für N. mentalis (des N. alveolaris inferior aus V₃).

3.6.6 Der Nervus abducens (VI)

Dieser Nerv hat den längsten intrakraniellen Verlauf. Er kommt von kaudal (Austrittsstelle s. S. 112), zieht durch die Cisterna pontis nach vorn, durchbricht am Clivus die Dura und zieht über die Spitze der Felsenbeinpyramide in den Sinus cavernosus

Tabelle 3.14

Äste des N. mandibularis (V ₃)	
Äste mit Höhe ihres Abgangs	Verlauf (•) und Innervation (→)
kurz nach Durchtritt des Foramen ovale:	
– R. meningeus (= N. spinosus)	• zieht mit der A. meninge media durch das <i>Foramen spinosum</i> in die mittlere Schädelgrube zurück → Dura mater im Versorgungsgebiet der A. meninge media (s. S.172) → Schleimhaut von Keilbeinhöhle und Cellulae mastoideae
in der Fossa infratemporalis:	
vorderer (vorwiegend motorischer) Stamm:	
– N. pterygoideus medialis	→ M. pterygoideus medialis → M. tensor veli palatini → M. tensor tympani
– N. pterygoideus lateralis	→ M. pterygoideus lateralis
– Nn. temporales profundi	→ M. temporalis
– N. massetericus	• tritt durch die <i>Incisura mandibulae</i> → M. masseter • verläuft zwischen den beiden Köpfen des M. pterygoideus lateralis • Verzweigung im M. buccinator (= mimischer Muskel, der nicht durch den N. buccalis, sondern durch den N. facialis innerviert wird!) → Haut und Schleimhaut der Wange sowie angrenzendes Zahnfleisch
– N. buccalis (sensibel)	
in der Fossa infratemporalis:	
hinterer (vorwiegend sensibler) Stamm:	
– N. alveolaris inferior	• zieht zwischen Lig. sphenomandibulare und Ramus mandibulae abwärts zum <i>Foramen mandibulae</i>, über das er in den <i>Canalis mandibulae</i> eintritt • Abgang vor dem Canalis mandibulae; zieht im Sulcus mylohyoideus der Mandibula an die Unterfläche des M. mylohyoideus → M. mylohyoideus → M. digastricus, Venter anterior • gehen innerhalb des Canalis mandibulae vom N. alveolaris inferior ab → Unterkieferzähne → Zahnfleisch • verlässt den Canalis mandibulae durch das <i>Foramen mentale</i> → Haut am Kinn → Haut und Schleimhaut der Unterlippe
– N. mylohyoideus	
– Rr. dentales und gingivales inferiores	
– N. mentalis (Endast des N. alveolaris inferior)	
– N. lingualis	• zieht zwischen den Mm. pterygoidei lateralis und medialis (medial und vor dem N. alveolaris inferior) im Bogen nach vorne abwärts unter die Mundschleimhaut (<i>auf</i> den M. mylohyoideus), wo er den Ductus submandibularis unterkreuzt • Anlagerung der Chorda tympani (s. N. facialis, S. 66) → vordere zwei Drittel der Zunge (sensibel) → Schlundenge und zur Gaumentonsille → Schleimhaut des Mundbodens • ziehen ohne Umschaltung durch das dem N. lingualis angelagerte Ganglion durch
– Rr. linguales	
– Rr. isthmi faucium	
– N. sublingualis	
– Rr. ganglionares ad ganglion submandibulare = Radix sensoria ganglii submandibulare	
– N. auriculotemporalis	• umfasst mit seinen zwei Wurzeln schlingenförmig die A. meninge media, zieht hinter dem Ramus mandibulae und dann mit der A. temporalis superficialis aufwärts → Faszie der Ohrspeicheldrüse und darüber liegende Haut (teilweise zusammen mit N. auricularis magnus aus dem Plexus cervicalis) → äußerer Gehörgang → Trommelfell → Kiefergelenk → Anlagerung an Fazialisäste zur Gl. parotidea (s. Jacobson-Anastomose, S. 70) → Schläfenhaut vor und über dem Ohr → vordere Abschnitte der Ohrmuschel
– Rr. parotidei	
– N. meatus acusticus externi	
– Rr. membranae tympani	
– Rr. articulares	
– Rr. communicantes cum nervi facialis*	
– Rr. temporales superficiales (Endäste)	
– Nn. auriculares anteriores	

*keine sensiblen Trigeminasfasern, sondern postganglionäre parasympathische Fasern aus dem Ganglion oticum

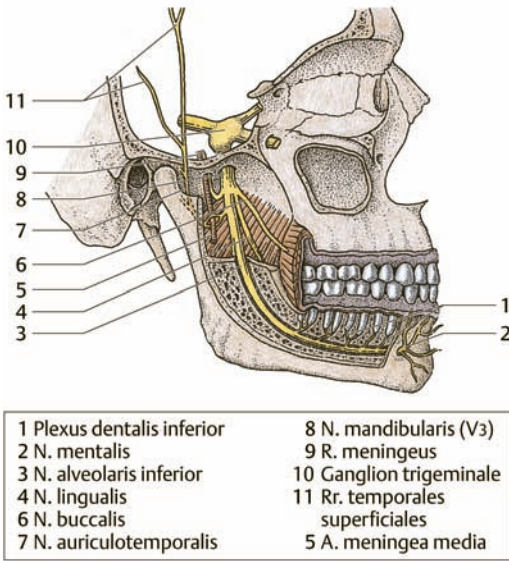


Abb. 3.16 Äste des N. mandibularis

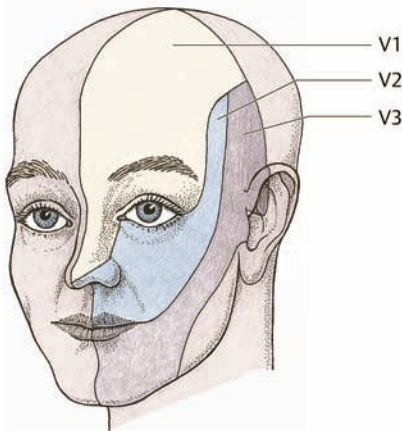


Abb. 3.17 Versorgungsgebiete der drei Hauptäste des N. trigeminus
Zu beachten ist, dass der Kieferwinkel nicht durch den N. trigeminus, sondern von Ästen des Plexus cervicalis sensibil innerviert wird (s. Abb. 3.3, S. 38).

(lateral von der A. carotis interna). Durch die *Fissura orbitalis superior* kommt er in die Orbita, zieht durch den Anulus tendineus und innerviert den M. rectus lateralis.

Klinischer Bezug

Abduzensparese: Bei isolierter Läsion des N. abducens treten durch Ausfall des M. rectus lateralis ein Einwärtsschielen und Doppelbilder auf (besonders ausgeprägt beim Blick zur Läsionsseite). Letztere sind horizontal gegeneinander verschoben und stehen parallel. Zur Vermeidung von Doppelbildern dreht der Patient seinen Kopf leicht zur Seite der Lähmung, um die Unbeweglichkeit des Bulbus zu kompensieren.

3.6.7 Der Nervus facialis (VII)

Der N. facialis und der N. intermedius treten gemeinsam mit dem N. vestibulocochlearis (VIII, s. u.) durch den Porus und Meatus acusticus internus. Dabei liegt der N. intermedius zwischen N. vestibulocochlearis und N. facialis (deshalb der Name „intermedius“). In der Felsenbeinpyramide (Pars petrosa des Os temporale) folgen sie dem fast rechtwinklig gebogenen Verlauf des Canalis nervi facialis, wodurch das äußere Fazialisknie entsteht. Auf dieser Höhe liegt das sensorische **Ganglion geniculi** mit pseudounipolaren Nervenzellen. Nach dem Fazialisknie verlaufen die Nervenfasern in ihrem Kanal in der hinteren Wand der Paukenhöhle im Bogen nach unten. Nach Abgabe von drei Ästen innerhalb des Canalis facialis (Tab. 3.15) verlässt ihn der Großteil der motorischen Fazialisfasern am Foramen stylomastoideum (Abb. 3.18).

MERKE

Das Ganglion geniculi n. facialis enthält Perikarya der in der Chorda tympani verlaufenden Geschmacksfasern.

Tabelle 3.15

Äste des N. facialis (VII) mit N. intermedius

Äste mit Höhe ihres Abgangs	Verlauf (•) und Innervation (→)
<i>innerhalb des Canalis facialis am äußeren Fazialisknie:</i>	
– N. petrosus major (präganglionäre parasympathische Fasern aus dem N. intermedius)	• verlässt den Canalis facialis durch den <i>Hiatus n. petrosi majoris</i>, um erneut in die Schädelhöhle zu gelangen. Hier läuft er im <i>Sulcus n. petrosi majoris</i> nach medial (in Begleitung des ebenfalls parasympathischen N. petrosus minor aus dem N. glosso-pharyngeus) auf der Vorderfläche des Felsenbeins bis er die mittlere Schädelgrube durch das <i>Foramen lacerum</i> verlässt • Nach Vereinigung mit den sympathischen Fasern des N. petrosus profundus zum N. canalis pterygoidei zieht dieser durch den <i>Canalis pterygoideus</i> (an der Wurzel des Processus pterygoideus) zum Ganglion pterygopalatinum in der <i>Fossa pterygopalatina</i> (Abb. 3.15); nach dortiger Umschaltung auf postganglionäre Neurone (siehe Tab. 3.11, S. 59): → Gl. lacrimalis → Gl. nasales und palatinae
<i>im absteigenden Teil des Canalis facialis in der hinteren Paukenhöhlenwand:</i>	
– N. stapedius	→ M. stapedius
<i>im Canalis facialis kurz vor dem Foramen stylomastoideum:</i>	
– Chorda tympani Geschmacksfasern (Perikarya im Ganglion geniculi) parasympathische Fasern	• verläuft (in einer Schleimhautfalte eingebettet) durch die <i>Paukenhöhle</i> zwischen Hammer und Amboss zur <i>Fissura petrotympanica</i>, über die sie die Paukenhöhle verlässt • Anlagerung an den N. lingualis (aus V₃) in der <i>Fossa infratemporalis</i> (Abb. 3.13) → vordere zwei Drittel der Zunge • zweigen wieder vom N. lingualis ab und ziehen über Rr. communicantes zum Ganglion submandibulare; nach Umschaltung auf postganglionäre Neurone: → Gl. submandibularis → Gl. sublingualis
<i>nach Austritt aus dem Foramen stylomastoideum:</i>	
– N. auricularis posterior	→ mimische Muskeln des Ohres → M. occipitofrontalis, Venter occipitalis
– R. digastricus	→ M. digastricus, Venter posterior
– R. stylohyoideus	→ M. stylohyoideus
<i>innerhalb der Gl. parotidea:</i>	
– Plexus intraparotideus	• Aufteilung in u.g. Äste
<i>am Vorderrand der Gl. parotidea:</i>	
– Rr. temporales	• fächerförmiger Austritt der Äste → mimische Gesichtsmuskulatur
– Rr. zygomatici	
– Rr. buccales	
– R. marginalis mandibulae	
– R. colli	→ Platysma

Klinischer Bezug

Fazialisparese: Je nachdem, an welcher Stelle der N. facialis in seinem peripheren Verlauf geschädigt wird, resultieren unterschiedliche Symptomatiken. Liegt die Läsion am Foramen stylomastoideum kommt es zum Ausfall aller mimischen Muskeln mit folgenden ipsilateralen Ausfallserscheinungen (**Abb. 3.19a**):

- Fehlender Lidschluss (dadurch auch fehlender Korneareflex, s. S. 62): Beim Versuch das Auge zu schließen, wird das Weiß der Skleren sichtbar (Bell-Phänomen). Dies kommt durch das physiologische Drehen des Augapfels nach oben zustande, das unter physiologischen Bedingungen nur aufgrund des intakten Lidschlusses nicht wahrgenommen wird.
- Stirnrunzeln nicht möglich

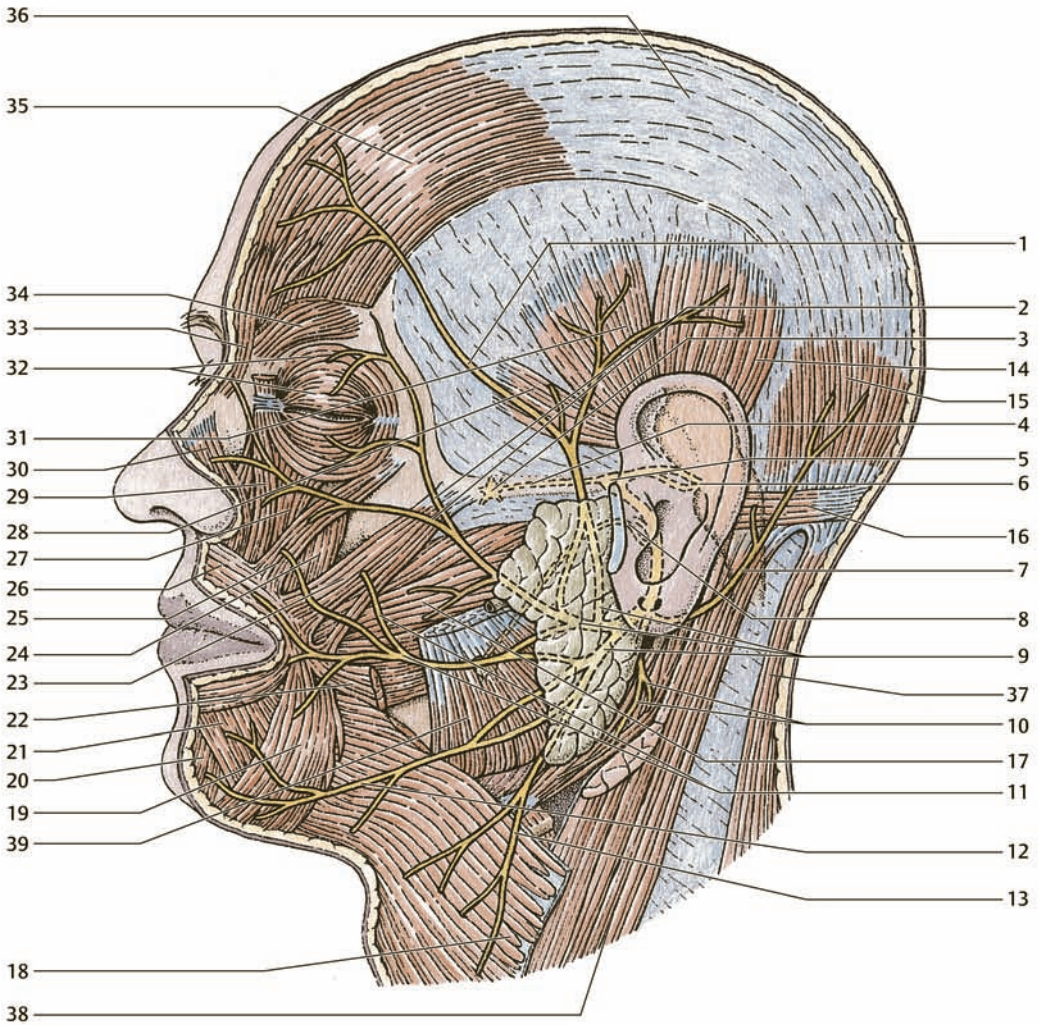
- Herabhängen des Mundwinkels: Pfeifen, d. h. Spitzen des Mundes, ist nicht möglich.

Bei einer weiter peripher gelegenen Schädigung (z. B. in der Glandula parotidea) können auch nur einzelne Äste betroffen sein.

Wird der N. facialis proximal des Foramen stylomastoideum verletzt, können je nach Mitbefall der betroffenen Ästen folgende Symptome hinzukommen:

- gestörte Geschmacksempfindung + verminderte Speichelsekretion bei Mitbefall der Chorda tympani
- Hyperakusis bei Mitbefall des N. stapedius
- verminderte Tränensekretion bei Mitbefall des N. petrosus major.

Von den o.g. Formen der **peripheren** Fazialisparese (Schädigung des 2. motorischen Neurons) ist die sog.



N. facialis und N. intermedius mit Ästen und Ganglien:

- 1 Rr. temporales
- 2 Rr. zygomatici
- 3 Ganglion pterygopalatinum
- 4 N. petrosus major
- 5 Ganglion geniculi
- 6 Austritt des N. facialis und N. intermedius aus dem Hirnstamm
- 7 N. auricularis posterior
- 8 Chorda tympani
- 9 Plexus intraparotideus
- 10 R. digastricus und R. stylohyoideus
- 11 Rr. buccales
- 12 R. marginalis mandibulae
- 13 R. colli

Mimische Muskeln:

- 14 M. auricularis superior
- M. occipitofrontalis mit
- 15 Venter occipitalis
- 35 Venter frontalis
- 16 M. auricularis posterior
- 17 M. buccinator
- 18 Platysma
- 19 M. depressor anguli oris
- 20 M. mentalis
- 21 M. depressor labii inferioris
- 22 M. risorius
- 23 M. zygomaticus major
- 24 M. levator anguli oris
- 25 M. zygomaticus minor
- 26 M. orbicularis oris

- 27 M. levator labii superioris
- 28 M. auricularis anterior
- 29 M. levator labii superioris alaeque nasi
- 30 M. nasalis
- 31 M. temporoparietalis
- 32 M. orbicularis oculi
- 33 M. procerus
- 34 M. corrugator supercilii
- 36 Galea aponeurotica

Nicht mimische Muskeln:

- 37 M. trapezius
- 38 M. sternocleidomastoideus
- 39 M. masseter

Abb. 3.18 N. facialis in der oberflächlichen Gesichtsregion mit mimischen Muskeln

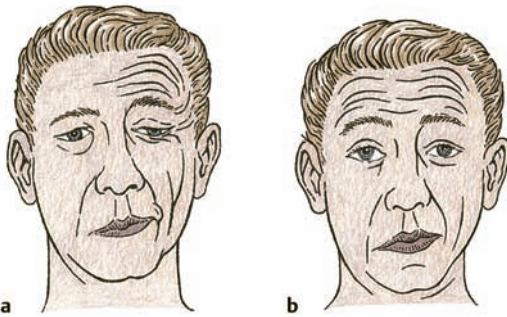


Abb. 3.19 Fazialisparese

- a** Läsion des peripheren Nervs (2. motorisches Neuron): ipsilateraler Ausfall der mimischen Muskulatur
b Supranukleäre Läsion = zentral (1. motorisches Neuron): kontralateraler Ausfall der mimischen Muskulatur in der unteren Gesichtshälfte bei erhaltener Fähigkeit, die Stirn zu runzeln (Lidschluss ebenfalls intakt)

zentrale Fazialisparese zu unterscheiden. Der Begriff ist nicht ganz korrekt, da bei letzterer nicht der Nerv geschädigt wird, sondern eine supranukleäre Läsion die Ursache für die Lähmungserscheinungen ist: Die Schädigung liegt hier vor Erreichen des Ncl. n. facialis, d.h. im Bereich des primär motorischen Kortex oder der kortikonukleären Fasern (1. motorisches Neuron). Wichtig für das Verständnis der Symptomatik bei supranukleärer Läsion ist der Verlauf kortikonukleärer Fasern zu unterschiedlichen Anteilen des Nucleus n. facialis: Der Anteil, der die Stirn- und Lidmuskulatur versorgt, erhält Fasern aus der motorischen Endhirnrinde *beider* Hemisphären. So kann bei einseitiger supranukleärer Schädigung der Ausfall kompensiert werden und Stirnrunzeln sowie Lidschluss sind ipsi- und kontralateral der Schädigung möglich. Der Kernanteil für die übrige mimische Muskulatur dagegen erhält lediglich eine kontralaterale Innervation. Folge ist der kontralateral zur supranukleären Läsion gelegene Ausfall der mimischen Muskeln für die untere Gesichtshälfte (**Abb. 3.19b**). Störungen des Intermedius-Anteils liegen bei supranukleären Läsionen nicht vor.

3.6.8 Der Nervus vestibulocochlearis (VIII)

Der N. vestibulocochlearis besteht aus den zentralen Fortsätzen der jeweils ersten Neurone innerhalb der Hörbahn (s. S. 214) und des Gleichgewichtssystems (s. S. 217):

- Die Perikarya des Hörnervs (**N. cochlearis**) bilden das bandartige Ggl. spirale cochleae entlang des Modiolus im Innenohr; die peripheren Fortsätze enden an den Haarzellen des Corti-Organes (s. S. 240).
- Die peripheren Fortsätze des **N. vestibularis** empfangen Signale von den Haarzellen des Vestibularorgans (s. S. 242). Die zugehörigen Perikaryen bilden das Ggl. vestibulare am Boden des Meatus acusticus internus, durch den beide Anteile des N. vestibulocochlearis mit dem N. facialis und der A. labyrinthi treten.

3.6.9 Der Nervus glossopharyngeus (IX)

Der N. glossopharyngeus verlässt den Schädel durch die vordere Abteilung des Foramen jugulare. Innerhalb des Foramen jugulare liegt das kleine **Ganglion superius**, unmittelbar nach dem Durchtritt das größere **Ganglion inferius**. Dann zieht der Nerv im Bogen zwischen M. stylopharyngeus und M. styloglossus zur Zungenwurzel. Seine Äste sind der Tabelle 3.16 zu entnehmen.

MERKE

Die sensiblen Fasern aus dem Pharynx und aus der Zunge sowie die Geschmacksfasern haben ihre Perikarya in den Ganglia superius und inferius (vergleichbar mit Spinalganglien). Die parasympathischen Fasern für die Glandula parotidea werden im Ganglion oticum umgeschaltet, die für die Pharynxdrüsen in kleinen lokalen Ganglien des Plexus pharyngeus.

3.6.10 Der Nervus vagus (X)

Der N. vagus (Äste siehe **Tab. 3.17**) tritt gemeinsam mit dem N. accessorius durch den hinteren Teil des Foramen jugulare. Im Foramen liegt das kleine Ganglion superius, unterhalb des Lochs das wesentlich größere Ganglion inferius. Zwischen diesen beiden sensiblen/sensorischen Ganglien treten die Fasern aus dem R. internus n. accessorii (s. u.) zum N. vagus über und verlaufen mit ihm zu den inneren Kehlkopfmuskeln und zur Schlundmuskulatur.

Tabelle 3.16

Äste des N. glossopharyngeus (IX)

Äste mit Höhe ihres Abgangs Verlauf (•) und Innervation (→)

am Ganglion inferius:

- N. tympanicus
 - gelangt aufsteigend durch den *Canaliculus tympanicus* (in der Fossula petrosa) in die *Paukenhöhle* und verzweigt sich dort in der Schleimhaut der medialen Wand auf dem Promontorium zum Plexus tympanicus
 - Paukenhöhle
 - Tuba auditiva
 - durch den *Hiatus n. petrosi minoris* gelangt dieser Ast zurück in die Schädelhöhle, wo er parallel zum N. petrosus major auf der Vorderfläche der Pars petrosa im Sulcus petrosi minoris nach medial zieht
 - durch die *Fissura sphenopetrosa* (als laterale Fortsetzung des Foramen lacerum) verlässt er die mittlere Schädelhöhle und gelangt in die *Fossa infratemporalis*
 - nach Umschaltung im **Ggl. oticum** lagern sich die postganglionären Fasern dem N. auriculotemporalis an und erreichen (z. T. über R. communicans cum nervi facialis) die von ihnen innervierte Drüse (**Jacobson-Anastomose***)
 - Gl. parotidea

weiter distal jeweils auf Höhe der innervierten Strukturen:

- R. musculi stylopharyngei → M. stylopharyngeus
- Rr. pharyngei → M. constrictor pharyngis superior
 - zusammen mit dem N. vagus nach Bildung des Plexus pharyngeus:
 - M. constrictor pharyngis medius
 - Pharynxschleimhaut (Pars oralis)
 - Glandulae pharyngei (parasymphatisch, nach Umschaltung im Plexus pharyngeus)
- Rr. tonsillares → Tonsilla palatina (Gaumenmandel)
 - M. palatoglossus
 - M. palatopharyngeus
 - zusammen mit dem N. vagus nach Bildung des Plexus pharyngeus:
 - M. levator veli palatini
 - M. uvulae
 - hinteres Drittel der Zunge
- Rr. linguales (sensible und Geschmacksfasern)
- R. sinus carotici → Presso- und Chemorezeptoren des Sinus caroticus/Glomus caroticum

* Als Jacobson-Anastomose wird meist der Verlauf postganglionärer parasymphatischer Fasern aus dem Ganglion oticum bezeichnet, die sich nach vorübergehender Anlagerung an den N. auriculotemporalis Fazialisästen anschließen, um mit ihnen zu ihrem Innervationsgebiet (Glandula parotidea) zu gelangen. Manchmal wird auch schon die präganglionäre Strecke der Glossopharyngeus-Fasern (über Nn. tympanicus und petrosus minor) hinzugezählt.

MERKE

Die Ganglia superius und inferius sind sensible/sensorische Ganglien (vergleichbar einem Spinalganglion mit pseudounipolaren Zellen). Die parasymphatischen Ganglien des N. vagus, in denen Umschaltungen stattfinden, liegen organnah (vgl. auch S. 226).

Am Hals verläuft der N. vagus im Gefäß-Nerven-Strang hinter der medial gelegenen A. carotis interna (bzw. weiter kaudal der A. carotis communis) und der lateral gelegenen V. jugularis interna. Diese drei Strukturen besitzen eine gemeinsame Bindegewebshülle (Vagina carotica).

Der linke N. vagus zieht durch die obere Thoraxapertur, vor dem Arcus aortae und hinter dem Bronchus principalis sinister; dann gelangt er in das hintere Mediastinum auf die Ventralfläche des

Ösophagus. Hier bildet er den Plexus oesophageus, aus dem in der Nähe des Zwerchfells der **Truncus vagalis anterior** hervorgeht.

Der rechte N. vagus zieht über die A. subclavia dextra durch die obere Thoraxapertur, hinter der V. brachiocephalica dextra und dann hinter dem rechten Hauptbronchus (nahe der Bifurcatio tracheae) zur Rückfläche des Ösophagus, um hier ebenfalls zum Plexus oesophageus beizutragen. Aus letzterem geht dann der **Truncus vagalis posterior** hervor.

MERKE

Der rechte N. vagus (dexter) bildet den dorsalen Truncus vagalis.

Die Trunci vagales anterior und posterior ziehen durch den Hiatus oesophageus des Zwerchfells und

Tabelle 3.17

Äste des N. vagus (X)	
Äste mit Höhe ihres Abgangs	Verlauf (•) und Innervation (→)
auf Höhe des Ggl. superius: – R. meningeus – R. auricularis	• zieht durch das <i>Foramen jugulare</i> zurück → Dura mater der hinteren Schädelgrube • zieht in den <i>Canaliculus mastoideus</i>, den er an der <i>Fissura tympanomastoidea</i> verlässt → hinteren unteren Teil des äußeren Gehörgangs → Teil des Trommelfells (s. S. 233)
auf Höhe des Ggl. inferius: – R. pharyngeus	• Aufspaltung in mehrere Äste, die mit den gleichnamigen Ästen des N. glossopharyngeus und sympathischen Fasern aus dem Halsgrenzstrang den Plexus pharyngeus in der Rachenwand bilden → Geschmacksknospen im Bereich der Epiglottis und Übergang zum Zungengrund → M. constrictor pharyngis inferior - zusammen mit Glossopharyngeus-Fasern: → M. constrictor pharyngis medius → Mm. uvulae und levator veli palatini → Pharynxdrüsen → Schleimhaut im Hypopharynxbereich
unterhalb des Ggl. inferius: – N. laryngeus superior – R. externus (schwach) – R. internus (kräftiger)	• zieht an der Hinterseite der A. carotis interna entlang und teilt sich (auf Höhe des großen Zungenbeinhorns) in seine 2 Unteräste → Gll. thyroidea und parathyroideae → M. cricothyroideus (äußerer Kehlkopfmuskel) • durchbohrt zusammen mit der A. laryngea superior die <i>Membrana thyrohyoidea</i> → Kehlkopfschleimhaut <i>oberhalb</i> der Stimmfalte
Halsteil des N. vagus: – Rr. cardiaca cervicales superiores und inferiores	• zwei oder drei Äste, die zusammen mit der A. carotis communis zum Aortenbogen ziehen und mit diesem zur Herzbasis gelangen, wo sie zur Bildung des Plexus cardiacus beitragen → Herz (insbesondere Verlangsamung der Herzfrequenz) → Aortenwand (Dehnungs- und Chemorezeptoren der Aortenwand)
Brustteil des N. vagus: – N. laryngeus recurrens – Rr. tracheales – Rr. oesophageales – Rr. pharyngei – N. laryngeus inferior* – Rr. cardiaca thoracici – Rr. bronchiales	• zieht rückläufig wieder aufwärts (links um den Aortenbogen lateral vom Lig. arteriosum; rechts um die A. subclavia) • in der Rinne zwischen Ösophagus und Trachea gelangt er unter Abgabe kleinerer Äste hinter die Schilddrüse → Gll. thyroidea und parathyroideae (zusammen mit N. laryngeus superior) → Trachea → Ösophagus → Pharynx • durchbohrt den M. constrictor pharyngis inferior und gelangt in den Kehlkopf → alle inneren Kehlkopfmuskeln → Schleimhaut unterhalb der Stimmritze → Plexus cardiacus (s. o.) → über Plexus pulmonalis zu Bronchien, Gefäßen und Pleura visceralis
Bildung des Plexus oesophagus und weitere Verzweigung mit Versorgung der Bauchorgane s. Text	
* Diese gesonderte Bezeichnung des Endastes ist nicht mehr Bestandteil der aktuellen Terminologia anatomica, wird jedoch im deutschen Sprachraum z. T. noch verwendet.	

geben u.a. jeweils Rr. gastrici anteriores bzw. posteriores sowie Rr. hepaticae ab. Dabei ziehen Fasern aus dem Truncus vagalis anterior v.a. zur Vorderwand des Magens während Fasern aus dem Truncus vagalis posterior die hintere Magenwand sowie alle übrigen Eingeweide bis zum Cannon-Böhm-Punkt versorgen.

MERKE

Der R. externus des N. laryngeus superior versorgt den einzigen äußeren Kehlkopfmuskel (M. cricothyroideus = äußerer Spanner des Stimmbands).

Klinischer Bezug

Rekurrensparese: Eine Schädigung des N. laryngeus recurrens (meist nach chirurgischen Eingriffen an der Schilddrüse, seltener bei mediastinalen Raumforderungen wie z.B. einem Aortenaneurysma) führt zu einer Lähmung aller inneren Kehlkopfmuskeln (Stimmritzenöffner und -schließer). Der intakte (äußere) M. cricothyroideus spannt das Stimmband der geschädigten Seite, sodass es in die Medianlinie gezogen wird und zu Heiserkeit führt. Sind beide Seiten betroffen, droht eine schwere Atemnot.

Kullissenphänomen: Bei einer proximalen Läsion von Vagus- und/oder Glossopharyngeus-Fasern kommt bei Anspannung des Gaumensegels zum Abweichen der Uvula und des Gaumensegels zur gesunden Seite.

3.6.11 Der Nervus accessorius (XI)

Nach seinem Durchtritt aus dem Foramen jugulare teilt sich der N. accessorius in R. internus und R. externus. Der R. internus (mit motorischen Fasern für Schlund- und Kehlkopfmuskulatur) zieht zwischen seinen Ganglia superius und inferius des N. vagus zu diesem Nerv (s. S. 69). Der R. externus, der auch häufig als *der* N. accessorius beschrieben wird, zieht lateral der V. jugularis interna, gibt einen Ast in das obere Drittel des M. sternocleidomastoideus ab (oder durchbohrt ihn), zieht schräg abwärts durch das Halsdreieck und verschwindet dann hinter dem Vorderrand des M. trapezius. Er innerviert die beiden genannten Muskeln.

Klinischer Bezug

Akzessoriusparese: Weit häufiger als eine proximal gelegene Läsion ist eine iatrogene (= durch den Arzt verursachte) Schädigung des N. accessorius im lateralen Halsdreieck (z.B. bei Lymphknotenentfernungen). Dabei ist meist der M. sternocleidomastoideus nicht betroffen. Der Ausfall des oberen Trapeziusanteils führt auf der betroffenen Seite zu einem Schultertiefstand und einer sog. Schaukelstellung des Schulterblatts (Abweichen der oberen Scapula nach lateral). Das Heben des Armes über die Horizontale ist erschwert.

3.6.12 Der Nervus hypoglossus (XII)

Der N. hypoglossus verlässt die Schädelhöhle durch den Canalis nervi hypoglossi. Von der lateralen Seite der A. carotis interna kommend zieht er in ei-

nem Bogen (Arcus n. hypoglossi im Trigonum caroticum) über die A. carotis externa und ihre Äste nach vorne, um auf der Außenfläche des M. hypoglossus in die Zunge zu gelangen. Der Nerv versorgt alle Binnen- sowie alle äußeren Muskeln der Zunge.

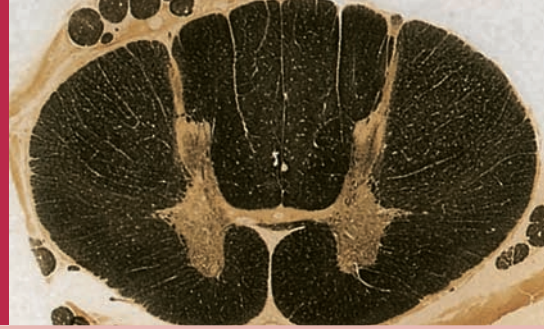
Klinischer Bezug

Hypoglossusparese: Bei einer Läsion des N. hypoglossus weicht die herausgestreckte Zunge zur gelähmten Seite ab (durch die Kontraktion des M. geniohyoideus der gesunden Seite). Ursache kann z.B. eine Fraktur in der hinteren Schädelgrube, ein Tumor im Zungenrundbereich oder ein Apoplex im Hirnstammbereich mit Schädigung des Ncl. nervi hypoglossi (s. S. 110) sein.

**Check-up**

- ✓ Führen Sie sich nochmals den genauen Verlauf des N. trochlearis vor Augen.
- ✓ Wiederholen Sie, wo die Trigeminusdruckpunkte liegen.
- ✓ Überlegen Sie, von welchem Nerv der M. buccinator innerviert wird.
- ✓ Die beiden Hirnnerven VII und IX sind durch die vielen verschiedenen Faseranteile und die Umschaltung ihrer Parasympathikusfasern in den Kopfganglien besonders kompliziert. Nehmen Sie in diesem Zusammenhang folgende Zuordnungen vor:
 - Hirnnerv – funktionell zugehörige(s) Kopfganglion bzw. -ganglien
 - Kopfganglien – durch ihre Neurone jeweils innervierte Drüsen im Kopfbereich
- ✓ Verdeutlichen Sie sich, was der N. glossopharyngeus neben der zuvor wiederholten sekretorischen (parasympathischen) Innervation sensibel und motorisch versorgt.
- ✓ Machen Sie sich nochmals genau den Verlauf und die Funktion des N. laryngeus recurrens klar; beides wird häufig geprüft.
- ✓ Wiederholen Sie den Verlauf der Chorda tympani (mit sekretorischen und parasympathischen Fasern).
- ✓ Rekapitulieren Sie die Innervation der Tränendrüse und der Gaumendrüsen.

Kapitel 4



Rückenmark (Medulla spinalis)

- 4.1 Der Überblick 75
- 4.2 Die Gestalt und die Gliederung 75
- 4.3 Die Verschaltungen und Bahnen im Rückenmark 82

Vitamine für die Nerven



Die im MRT sichtbaren, scharf begrenzten Läsionen im Hinterstrangbereich (→) sind ein typischer Befund bei funikulärer Myelose.

Das Rückenmark dient zum einen dem Zustandekommen von Reflexen. Zum anderen hat es die Funktion, das Gehirn mit dem peripheren Nervensystem zu verbinden. Es gliedert sich in die graue und die weiße Substanz. In der grauen Substanz befinden sich Nervenzellen mit ihren Verzweigungen. Die weiße Substanz des Rückenmarks enthält markhaltige Nervenfaserbahnen.

Da Vitamin B₁₂ für den Stoffwechsel der Markscheiden wichtig ist, kann es bei einem Vitamin-B₁₂-Mangel zu degenerativen Prozessen in der weißen Substanz des Rückenmarks kommen. Man spricht dann von funikulärer Myelose (oder funikulärer Spinalerkrankung).

Schwere Beine

Mit Rucksack und Regenjacke gewappnet marschiert Dorothea M. früh morgens zum verabredeten Treffpunkt – voller Vorfreude auf die bevorstehende Bergwanderung in den Appenzeller Alpen. Zwar ist ihre letzte Wanderung schon eine Weile her, aber warum sich ihre Beine so schwer und müde anfühlen, kann sich die 63-jährige nicht erklären: Sie kann ihre Füße kaum vom Boden abheben. Niedergeschlagen gibt sie nach zwei Stunden auf, geht alleine in das nächstgelegene Dorf zurück und fährt mit dem Bus nach Hause.

Diagnoseweisend:

Neurologische Untersuchung

Etwa zwei Wochen nach der misslungenen Wanderung verspürt Dorothea M. brennende Missempfindungen in den Füßen und in den Händen. Als ihre

Beschwerden von Tag zu Tag schlimmer werden, sucht sie das nahe gelegene Medizinische Versorgungszentrum auf und schildert dort ihre Symptome. Der junge Arzt, der Frau M. untersucht, stellt bei der Patientin einen breitbeinigen, unsicheren Gang (Gangataxie), eine diffuse Schwäche aller vier Extremitäten sowie Hypästhesien im Bereich der Füße, der Hände und der Unterschenkelvorderseiten fest. Die Reflexe sind insgesamt sehr schwach. „Wir werden einige Untersuchungen machen müssen“ teilt der Arzt seiner Patientin mit und fährt fort: „Solange Sie Blut abgenommen bekommen, würde ich gerne noch meine neurologische Kollegin um Rat fragen.“ Die Neurologin Frau Dr. Paulsen empfiehlt, zusätzlich ein MRT-Bild des Rückenmarks anfertigen zu lassen und bestellt Frau M. zur Besprechung der Befunde wieder ein.

Diagnose: Vitaminmangel

„Ihnen fehlt ein Vitamin – das Vitamin B₁₂, das für Ihre Nervenfasern wichtig ist“, erklärt Frau Dr. Paulsen der Patientin, als die Untersuchungsergebnisse vorliegen. „Der Vitamin-B₁₂-Wert beträgt weniger als die Hälfte der unteren Normbereichsgrenze“ fährt die erfahrene Neurologin fort, die unter diesem Verdacht schon die Aufnahmen des Rückenmarks empfohlen hatte. Die MRT-Bilder erklären die Symptome der Patientin: Im Bereich der Hinterstränge des Rückenmarks auf Höhe der Brust- und Halswirbelsäule sind als Zeichen von Hinterstrang-Läsionen deutliche Hyperintensitäten zu sehen.

Die Ursache liegt im Magen

Damit sind die Untersuchungen für Dorothea M. jedoch noch nicht abgeschlossen. Da im Serum auch Antikörper gegen den Intrinsic Factor nachgewiesen werden konnten, rät die Ärztin zu einer Magenspiegelung. Die dabei entnommene Biopsie der Magenschleimhaut bestätigt Frau Dr. Paulsens Verdacht auf eine chronisch atrophische Gastritis (Magenschleimhautentzündung). Der Intrinsic Factor ist ein in der Magenschleimhaut produziertes Glykoprotein. Er bildet normalerweise einen Komplex mit dem Vitamin B₁₂ (Cobalamin) und ermöglicht dadurch dessen Aufnahme über die Schleimhaut des terminalen Ileums in die Blutbahn. Dieser bei Dorothea M. gestörte Aufnahmeweg kann durch intramuskuläre Gaben von Cyanocobalamin umgangen und daher therapeutisch eingesetzt werden. So hofft die rüstige Dame, bald wieder wandern gehen zu können, ohne dass ihre Beine frühzeitig ermüden.

4 Rückenmark (Medulla spinalis)

4.1 Der Überblick

Das Rückenmark macht zwar nur 2 % des ZNS-Gewichts aus, erfüllt aber eine große Vielzahl wichtiger Funktionen. Es liegt geschützt im Wirbelkanal und wird von den Rückenmarkshäuten umhüllt (s. S. 169). In Längsrichtung weist das Rückenmark zwei Verdickungen und an seiner Oberfläche mehrere Furchen auf.

Durch die **graue Substanz** des Rückenmarks wird die Skelettmuskulatur des Körpers (ohne Kopf und Hals) innerviert. Sie enthält zudem viszeroefferente Neurone des Sympathikus und Teile des Parasympathikus. Andere in der grauen Rückenmarkssubstanz liegende Nervenzellen erhalten somato- und viszerosensible Afferenzen der Körperoberfläche und vieler innerer Organe.

Die **weiße Substanz** enthält Nervenfaserbahnen, die Rückenmark und Gehirn miteinander verbinden (Verbindungsapparat):

- aufsteigende Bahnen (für die Weiterleitung sensibler Informationen zum Gehirn) und
- absteigende Bahnen (für die Weiterleitung von motorischen Impulsen vom Gehirn zur grauen Substanz des Rückenmarks)

Zudem gibt es innerhalb der weißen Substanz Bahnen, die Rückenmarkssegmente untereinander verbinden (Eigenapparat).

4.2 Die Gestalt und die Gliederung



Lerncoach

Machen Sie sich im folgenden Abschnitt zunächst mit der Lage, der äußeren Gestalt und der inneren Gliederung des Rückenmarks vertraut. Wiederholen Sie dazu ggf. die allgemeinen Grundlagen zur grauen und weißen Substanz (s. S. 4f). Nutzen Sie die Unterscheidung in drei Klassen von Nervenzellen, deren jeweilige Namen bereits einen Hinweis auf ihre Lage und z. T. Funktion geben.

4.2.1 Die Lage, Form und Oberfläche

Das herauspräparierte Rückenmark ist ein dünner, ca. 45 cm langer Strang mit zwei Verdickungen:

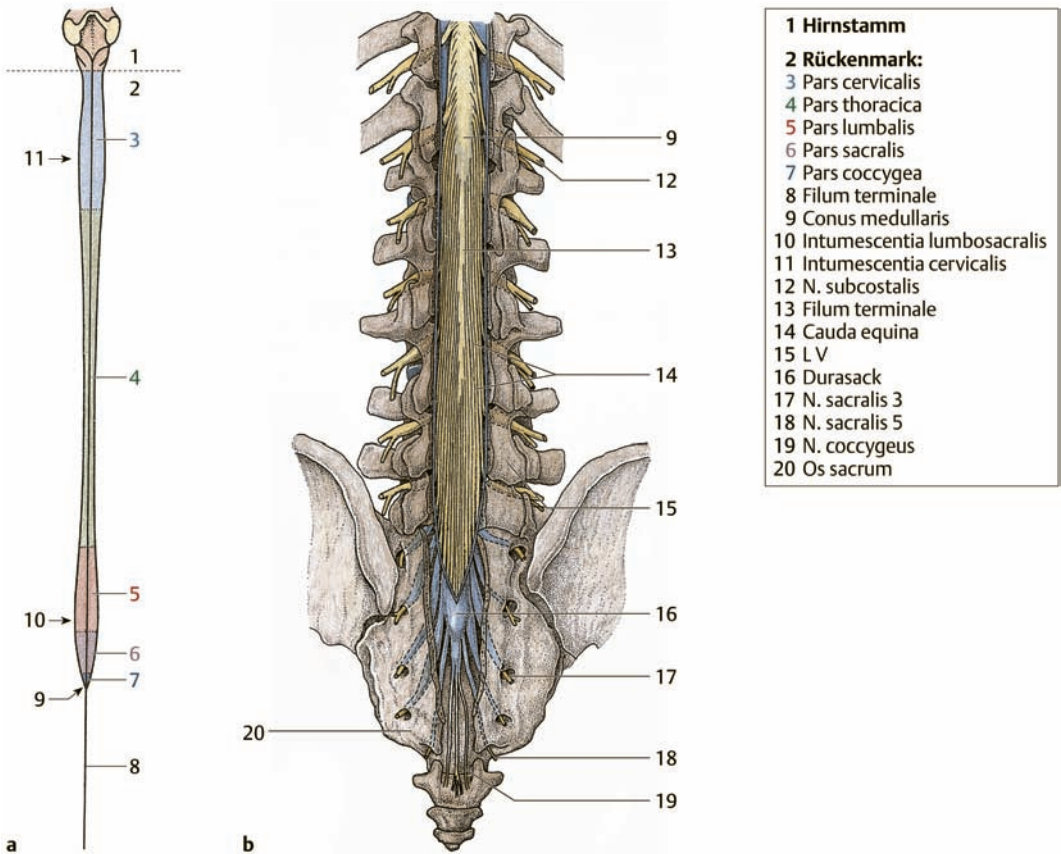
- **Intumescentia cervicalis** (in Höhe des 4.–8. Brustwirbels) und
- **Intumescentia lumbosacralis** (in Höhe des 10.–12. Brustwirbels).

Im Bereich dieser Verdickungen sind die graue Substanz und der Eigenapparat in der weißen Substanz besonders stark ausgebildet, da aus dem Bereich der Verdickungen die Innervation der Extremitäten erfolgt (**Abb. 4.1 a**). Das Rückenmark zeigt unten ein spitz zulaufendes Ende, den **Conus medullaris**, der sich auf Höhe des ersten oder zweiten Lendenwirbels in das Filum terminale fortsetzt. Dieser fadenförmige Ausläufer, der nur aus Gliagewebe besteht, ist am kaudalen Ende des Wirbelkanals (im Sakralbereich) befestigt. Das **Filum terminale** wird von der **Cauda equina** (Ansammlung der Spinalnervenzurden unterhalb des ersten oder zweiten Lendenwirbels) begleitet (**Abb. 4.1 b**).

An der **Oberfläche** des Rückenmarks sind mehrere unterschiedlich tiefe Längsfurchen erkennbar. Vorne in der Medianebene liegt die tiefe **Fissura mediana anterior**. Dorsal gegenüberliegend ist nur eine flache Rinne, **Sulcus medianus posterior**, ausgebildet. Der Sulcus medianus posterior setzt sich als Septum medianum posterius (Blatt aus Gliagewebe) innerhalb des Rückenmarks fort, das besonders im Thorakalbereich ausgebildet ist. Beiderseits der Fissura mediana anterior verläuft eine schwache Rinne, der Sulcus anterolateralis. Hier verlassen die motorischen Vorderwurden das Rückenmark. Dorsal findet sich beiderseits des Sulcus medianus posterior eine flache Rinne (Sulcus posterolateralis), in der die Hinterwurden eintreten. Im Halsbereich des Rückenmarks liegt auf beiden Seiten zwischen Sulcus medianus und Sulcus posterolateralis der flache Sulcus intermedius posterior. Er markiert die Grenze zwischen den Fasciculi cuneatus und gracilis (s. S. 82).

4.2.2 Die Rückenmarkssegmente

Die paarig aus dem Rückenmark austretenden Vorder- und Hinterwurden, die sich auf beiden Seiten zum Spinalnerv (s. S. 33) zusammenlagern, kennzeichnen die Rückenmarkssegmente. Ihre Entstehung wird während der Entwicklung durch die

**Abb. 4.1** Rückenmark**a** Isoliertes Rückenmark in der Ansicht von dorsal**b** Kaudales Rückenmark mit Conus medullaris und Cauda equina im eröffneten Wirbelkanal von dorsal nach teilweiser Entfernung der Dura mater und Arachnoidea

Somiten induziert, jedoch sind die Segmente als solche von außen nur durch die zugehörigen Nervenwurzeln erkennbar.

Man unterscheidet:

- 8 Zervikalsegmente
- 12 Thorakalsegmente
- 5 Lumbalsegmente
- 5 Sakralsegmente
- 1–3 Kokzygealsegmente.

Da das Rückenmark im Vergleich zum Wachstum der Wirbelsäule zurückbleibt, reicht es beim ausgewachsenen Menschen nur bis zur Höhe des ersten oder zweiten Lendenwirbelkörpers. Daher liegt ein Rückenmarkssegment weiter kranial als der gleichnamige Wirbel (**Abb. 4.2**).

Die zugehörigen Spinalnerven, die durch den Zusammenschluss von Vorder- und Hinterwurzel entstehen, treten – mit Ausnahme des ersten zervikalen Spinalnervenpaars – immer unter dem gleichnamigen Wirbel aus dem Spinalkanal aus. Die Ausnahme im zervikalen Bereich liegt darin begründet, dass es 8 zervikale Rückenmarkssegmente, jedoch nur 7 Halswirbel gibt.

Die segmentale Gliederung des Rückenmarks ist sowohl für die sensible als auch für die motorische Innervation der Körperperipherie von Bedeutung:

- Die **sensiblen Fasern** eines Rückenmarkssegmentes innervieren jeweils ein streifenförmiges **Dermatom**. Auch wenn – bedingt durch die Plexusbildung (s. S. 35) – die Fasern zur Versorgung

eines Dermatoms z.T. in unterschiedlichen peripheren Nerven ziehen, treten jeweils alle zum gleichen Rückenmarkssegment gehörigen sensiblen Fasern über die gleiche Hinterwurzel (s. S. 35) in das entsprechende Segment ein.

- Die **Motoneurone** (s. S. 78), die einen einzelnen Muskel innervieren, sind innerhalb der Columna anterior des Rückenmarks (s. S. 78) in einem säulenförmigen Kerngebiet zusammen angeordnet. Bei großen Muskeln (und/oder kleinen motorischen Einheiten) erstreckt sich die Kernsäule über mehrere Segmente (plurisegmentale Muskeln, Abb. 4.3). Ein Muskel, dessen Motoneurone im Wesentlichen auf Höhe eines Segmentes liegen, bezeichnet man als **Kennmuskel** dieses Segments. In den medial gelegenen Kernsäulen finden sich die Motoneurone für Muskeln des Körperstamms, in den lateralen die für mehr distale Extremitätenmuskeln. Die Fasern der Motoneurone verlassen das Rückenmark über die Vorderwurzel und vereinigen sich im Foramen intervertebrale mit den sensiblen Hinterwurzelfasern des gleichen Segments zum gemischten Spinalnerv (s. S. 33).

Klinischer Bezug

Kompressionssyndrome bei Bandscheibenschäden:

Kommt es durch degenerative Prozesse des Anulus fibrosus einer Bandscheibe zu einer Vorwölbung (Protrusion) oder Vorfal (Prolaps) des Nucleus pulposus, kann es je nach Lokalisation dieser Diskushernie zu verschiedenen Kompressionssyndromen kommen. Ein medialer Bandscheibenvorfall führt je nach Höhenlokalisierung zur Rückenmarkskompression oder zur Schädigung der Cauda equina (Kaudasyndrom, s. S. 88). Eine laterale Diskushernie führt zu Wurzelkompressionssyndromen. Zwar liegt bei Letzteren eine Läsion des peripheren Nervensystems vor; bei isolierten Wurzelverletzungen kommt es jedoch aufgrund des in diesem Bereich noch segmental angeordneten Faserverlaufs zu neurologischen Ausfallserscheinungen, die sich einem Rückenmarkssegment zuordnen lassen (segmentales oder radikuläres Schädigungsmuster). In der neurologischen Untersuchung macht man sich dies zunutze, um die Symptomatik gegenüber einer weiter peripher gelegenen Schädigung (Plexusläsion oder Schädigung eines bzw. mehrerer peripheren Nerven) abzugrenzen. Ne-

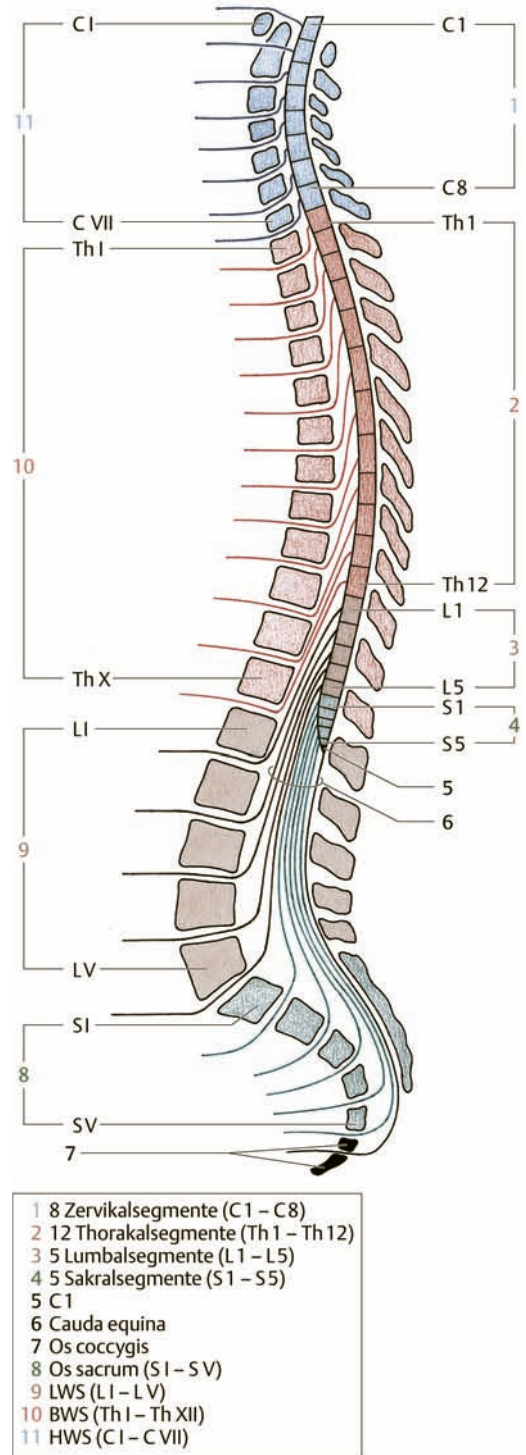


Abb. 4.2 Lage der Rückenmarkssegmente im Spinalkanal

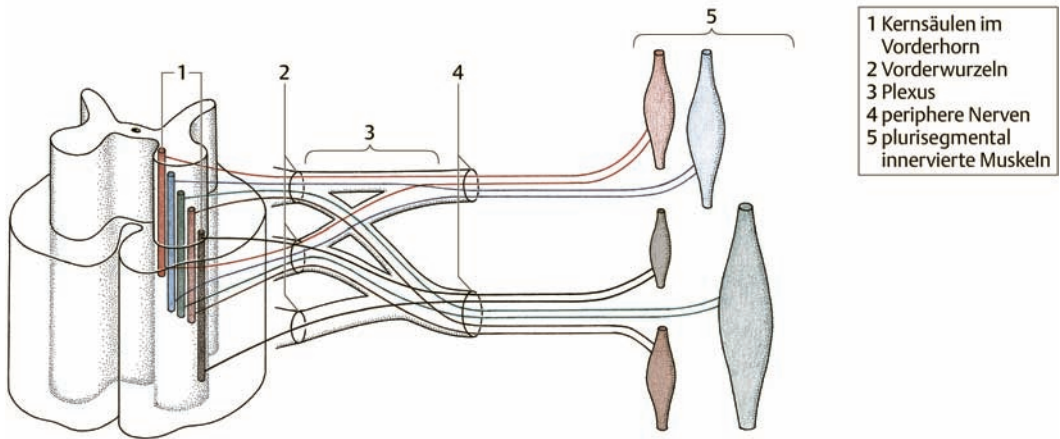


Abb. 4.3 Plurisegmentale Muskelinnervation

ben lokalen und Dehnungsschmerzen kann es zur Schmerzprojektion in das sensible Versorgungsgebiet (Dermatom) der betroffenen Wurzel sowie Hypästhesien in diesem Bereich kommen. Motorisch lassen sich bei schweren Schäden Paresen der von der betroffenen Wurzel (mit) versorgten Muskulatur sowie ggf. Abschwächung der jeweiligen Muskeigenreflexe (s. S. 86) des zugehörigen Segments nachweisen. Diese sind durch die meist plurisegmentale Versorgung eines Muskels weniger ausgeprägt als bei Verletzungen eines peripheren Nerven, können jedoch bei Kennmuskeln in jedem Fall einen Hinweis geben (z. B. Kraftminderung bei Dorsalextension der Großzehe durch Parese des M. extensor hallucis longus als Kennmuskel von L5).

4.2.3 Der Rückenmarksquerschnitt

Die Gliederung des Rückenmarks in graue und weiße Substanz lässt sich im Querschnittsbild erkennen. Im Zentrum eines Rückenmarksquerschnitts erkennt man das kleine Lumen des Canalis centralis, der von Ependym ausgekleidet ist.

4.2.3.1 Die graue Substanz

Die Anordnung

Die graue Substanz liegt in der Tiefe und hat die Form eines Schmetterlings, vergleichbar dem Großbuchstaben H (Abb. 4.4). Man unterscheidet am Quer-

schnitt Vorder-, Hinter- und Seitenhorn (**Cornu anterius**, **Cornu posterius** und **Cornu lateralis**), die sich – mit Ausnahme des lediglich thorakolumbal (C8–L2) und sakral (S2–S4) ausgeprägten Seitenhorns – über das gesamte Rückenmark erstrecken und daher auch als Säulen (**Columnae**) bezeichnet werden. Vor und hinter dem Zentralkanal liegt jeweils ein schmaler Streifen grauer Substanz (**Commissura grisea anterior** und **Commissura grisea posterior**).

Die Nervenzellen

Es werden drei Klassen von Nervenzellen in der grauen Substanz des Rückenmarks unterschieden: Wurzelzellen, Binnen- oder Schaltzellen und Strangzellen (Abb. 4.5).

- Die **Wurzelzellen** liegen je nach ihrer Funktion in den **Vorder- oder Seitenhörnern** der grauen Substanz und schicken ihre Axone über die **Vorderwurzel** zum Spinalnerven. Dazu gehören:
 - **α -Motoneurone** (große Vorderhornzellen) mit Axonen zur quergestreiften Skelettmuskulatur, die durch diese Innervation kontrahiert wird
 - **γ -Motoneurone** (kleine Vorderhornzellen), deren Axone intrafusale Muskelfasern von Muskelspindeln erreichen und darüber deren Empfindlichkeit auf Dehnungsreize erhöht.
 - Nervenzellen des **Sympathikus** in den Seitenhörnern der Rückenmarksegmente C8–L2, deren Axone zu vegetativen Ganglien des Sympathikus gelangen.

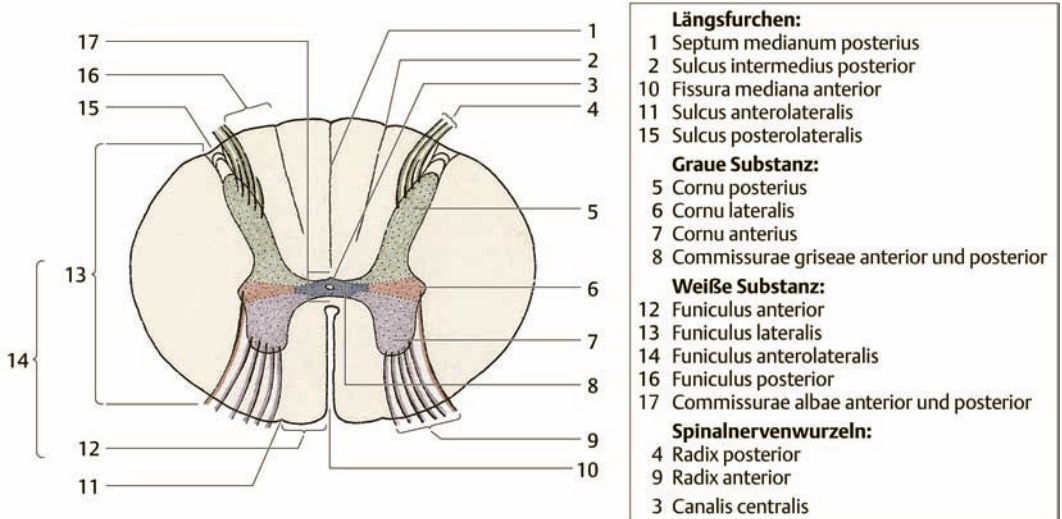


Abb. 4.4 Querschnitt durch das thorakale Rückenmark

- Nervenzellen des **Parasympathikus** in den Seitenhörnern der Rückenmarksegmente S2–S4 mit Axonen zu vegetativen Ganglien des Parasympathikus.

MERKE

Die Wurzelzellen sind efferente Neurone des ZNS, deren Axone das Rückenmark verlassen: Die Perikarya von α - und γ -Motoneuronen liegen im Vorderhorn, die der vegetativen Nervenzellen im Seitenhorn, das vorwiegend thorakolumbal (Sympathikus) und sakral (Parasympathikus) vorhanden ist.

- Die **Binnenzellen** (auch **Schaltzellen** genannt) sind **Interneurone**, die entweder benachbarte Rückenmarksneurone untereinander verbinden oder zwischen Axonen absteigender Bahnen und Rückenmarkszellen eingeschaltet sind. Ihre Fortsätze sind kurz und verlassen die graue Substanz nicht. Die in der Regel inhibitorischen Interneurone haben Glycin und/oder GABA als Transmitter. Sie sind an hemmenden Schaltkreisen beteiligt (s. a. S. 82).
- Die **Strangzellen** liegen vor allem im **Hinterhorn** des Rückenmarks. Sie sind Neurone des Verbindungs- und Eigenapparats (s. u.), deren Axone sich zu Tractus bündeln. An ihnen enden sowohl

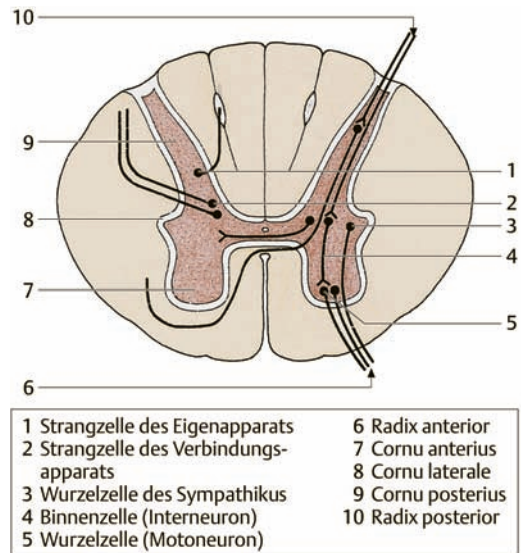


Abb. 4.5 Nervenzelltypen im Rückenmark

sensible Afferenzen, deren Perikarya im Spinalganglion liegen, als auch absteigende Fasern aus supraspinalen Zentren.

Die Zellschichten

Die Zusammenlagerungen von Nervenzellperikarya im Rückenmark werden als Schichten (**Laminae**) oder Kerne (**Nuclei**) beschrieben. Es werden zehn

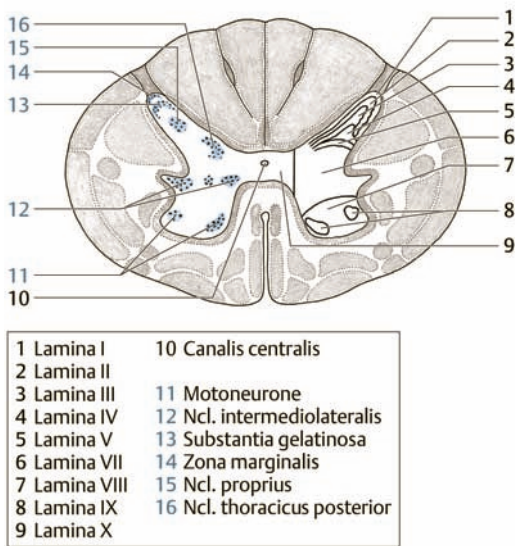


Abb. 4.6 Gliederung der grauen Substanz im Rückenmark

Laminae unterschieden, die von dorsal nach ventral durchnummeriert werden (I–X, **Tab. 4.1**). Lediglich die Lamina X liegt abweichend von der sonstigen Anordnung um den Canalis centralis herum (**Abb. 4.6**).

 **Beachten Sie in Tab. 4.1 besonders die fett gedruckten Begriffe. Die übrigen Details sind der Vollständigkeit halber mit aufgeführt, jedoch in der Regel für Ihre Prüfungen nicht so bedeutsam.**

Die Columna posterior enthält die Laminae I bis VI, die Columna intermedia die Laminae VII und X und die Columna anterior die Laminae VIII und IX (und Teile der Lamina VII).
Die Laminae der Hintersäule bestehen aus Nervenzellen mit kleinen bis mittelgroßen Perikarya (vor allem Interneurone). Zudem kommen einige große Perikarya von Strangzellen (u. a. Tractus spinothalamicus) vor.

Tabelle 4.1

Zellschichten der grauen Substanz im Rückenmark	
Schicht	Charakteristika und Funktion
Lamina I (Zona marginalis, Substantia spongiosa)	schmale Schichten mit kleinen (Interneurone) und großen Perikarya (Strangzellen, deren Axone die Tractus spinothalamicus oder spinoreticularis bilden) zusätzliches Vorkommen von synaptischen Glomeruli in Lamina II Funktion: Schmerzverarbeitung und -weiterleitung
Lamina II (Substantia gelatinosa)	
Lamina III und IV (Nucleus proprius)	auf allen Ebenen des Rückenmarks mit propriozeptiven Afferenzen (wie Nucleus dorsalis, s. u.) Funktion: Druck- und Berührungssensibilität (und z. T. auch Schmerz)
Lamina V	mechano- und nozizeptive Afferenzen aus Haut, Muskulatur und Eingeweiden Funktion: Berührung, Schmerz
Lamina VI	nur im Halsbereich signifikant ausgebildet propriozeptive und nozizeptive Afferenzen
Lamina VII	größter Teil der Columna intermedia (= Zona intermedia), mit drei Kerngebieten – Nucleus thoracicus posterior (Nucleus dorsalis, Stilling-Clarke) , mit propriozeptiven Afferenzen, Ursprung des Tractus spinocerebellaris posterior; im Halsmark liegt ein entsprechender Nucleus cervicalis centralis – Nucleus intermediolateralis , auf der Höhe C8–L2, präganglionäre Neurone des Sympathikus – Nuclei parasymphatici sacrales , auf der Höhe S2–S4, präganglionäre Neurone des Para-symphathikus Außerdem in Lamina VII: z. T. Ursprungsneurone des Tractus spinothalamicus
Lamina VIII	meist Interneurone für motorische Zellen (s. Lamina IX) und Strangzellen für Tractus spinothalamicus
Lamina IX	somatomotorische Wurzelzellen = cholinerge α - und β -Motoneurone – mediale Kerngruppe: für die Innervation der axialen Muskulatur – laterale Kerngruppe: besonders ausgeprägt im Bereich der Intumescentiae; für die Innervation der Extremitätenmuskulatur (weiter lateral liegende Unterkerne für weiter distale Muskeln) – zentrale Kerngruppe: im Halsmark, Ncl. n. phrenici, Ncl. n. accessorii – Onuf-Kern: Motoneurone des N. pudendus
Lamina X	um Zentralkanal gelegen, kleine Neurone Afferenzen aus Muskulatur und Eingeweide, Efferenzen zu Laminae V, VI und VII

In den Laminae I–III enden Fasern, die nach T-förmiger Aufteilung im Tractus posterolateralis (Lissauer-Randzone) über einige Segmente auf- und abwärts verlaufen. Hierbei handelt es sich um dünne Fasern (mit Signalen aus Nozi- und Thermozeptoren), die über das **laterale Bündel** der Hinterwurzel in das Rückenmark eintreten.

An Neuronen in tieferen Schichten der grauen Rückenmarkssubstanz enden dicke Fasern (für die übrigen Qualitäten), die über das **mediale Bündel** der Hinterwurzel ziehen. Ein anderer Teil dieser Fasern steigt ohne Umschaltung über den Hinterstrang zum Hirnstamm auf.

Die Neurone des Hinterhorns erhalten nicht nur Afferenzen aus der Hinterwurzel, sondern auch aus supraspinalen Zentren. So werden bereits im Hinterhorn nozizeptive Informationen durch deszendierende Bahnen gehemmt, wodurch eine Kontrolle der Weiterleitung von Schmerzimpulsen erreicht wird: Fasern aus supraspinalen Zentren (z. B. Formatio reticularis) erregen Interneurone des Hinterhorns. Die inhibitorischen Interneurone hemmen dann Strangzellen des Tractus spinothalamicus. Die Transmitter der Interneurone sind Glycin, GABA und Endorphin.

4.2.3.2 Die weiße Substanz

Die weiße Substanz liegt im Rückenmark oberflächlich und umgibt die graue Substanz mantelförmig. Hier verlaufen Axone der Strangzellen, die sowohl die langen Rückenmarksbahnen des Verbindungsapparats (s. S. 82) als auch intersegmentale Faserverbindungen, des Eigenapparats bilden. Die weiße Rückenmarkssubstanz wird gegliedert in:

- Hinterstrang (Funiculus posterior)
- Seitenstrang (Funiculus lateralis)
- Vorderstrang (Funiculus anterior).

Die **Hinterstränge** liegen zwischen den beiden Hinterhörnern und gliedern sich im oberen Thorakalmark sowie im Halsmark in Fasciculus cuneatus (Burdach) und Fasciculus gracilis (Goll). Hinterstrang und Seitenstrang sind durch den schmalen, streifenförmigen Tractus posterolateralis (Lissauer) getrennt, der sich zwischen Hinterhornspitze und Rückenmarksoberfläche befindet. Seiten- und Vorderstrang sind nicht so deutlich voneinander abgegrenzt und werden deshalb auch als **Vorderseitenstrang** zusammengefasst. Die beiden Vorderstränge

sind über die **Commissura alba anterior** (vor der Commissura grisea anterior gelegen) miteinander verbunden. Entsprechend liegt hinter der Commissura grisea posterior die **Commissura alba posterior**.

4.2.3.3 Die unterschiedliche Verteilung von grauer und weißer Substanz

Das Querschnittsbild sieht in den verschiedenen Abschnitten des Rückenmarks unterschiedlich aus. Die weiße Substanz nimmt von kaudal nach kranial an Masse zu:

- Zervikalkmark: dicke Vorderhörner, sehr reichlich weiße Substanz
- Thorakalkmark: schlanke Vorderhörner, reichlich weiße Substanz
- Lumbalkmark: dicke Vorderhörner, deutliche Seitenhörner, reichlich weiße Substanz
- Sakralkmark: große Vorderhörner, wenig weiße Substanz.



Check-up

- ✓ Führen Sie sich noch einmal die unterschiedlichen Höhenlokalisation der Rückenmarkssegmente im Vergleich zu den Wirbeln vor Augen. Wiederholen Sie in diesem Zusammenhang, auf welcher Höhe der Conus medullaris und die Intumescentia lumbosacralis liegen.
- ✓ Rekapitulieren Sie, welche verschiedenen Nervenzelltypen innerhalb der grauen Substanz liegen.

4.3 Die Verschaltungen und Bahnen im Rückenmark



Lerncoach

Die Verschaltungen der Neurone auf Rückenmarksebene und die Bündelung ihrer Axone zu größtenteils in Längsrichtung verlaufenden Bahnen sind komplex.

Lassen Sie sich davon an dieser Stelle nicht verwirren, sondern eignen Sie sich zunächst die Terminologie der hier besprochenen Strukturen an. Ihre Einbindung in verschiedene funktionelle Systeme, in denen sie mit Strukturen des Gehirns und peripheren Anteilen zusammenwirken, können Sie im Kapitel 11 (S. 199) nachlesen.

4.3.1 Die Verschaltungen

In der grauen Substanz findet eine Vielzahl an Verschaltungen statt. Neben Umschaltungen innerhalb einer „Informationskette“ von Neuronen wird durch zahlreiche, meist hemmende Interneurone die Weitergabe von Informationen modelliert.

Die Interneurone sind die bereits erwähnten Bin- nen- oder Schaltzellen (s. S. 79) in der grauen Substanz des Rückenmarks, die in folgende Verschaltungsmuster (hemmende Schaltkreise) eingebunden sein können:

- **Vorwärtshemmung:** Erregende Afferenzen zu Motoneuronen, die z. B. die Flexoren innervieren, geben Kollateralen zu Interneuronen ab. Letztere inhibieren in diesem Beispiel Motoneurone, die Extensoren innervieren.
- **Rückwärtshemmung:** Axonkollateralen eines α -Motoneurons ziehen im Rückenmark zu Interneuronen (**Renshaw-Zellen**, glyzinerg), die das- selbe und benachbarte Motoneurone inhibieren und so deren Aktivitäten bremsen. Die Rückwärtshemmung verhindert, dass sich ein Muskel zu stark (tetanisch) kontrahiert. Außerdem kann über die Renshaw-Hemmung eine Feinabstim- mung der Muskelkontraktion erreicht werden.

Klinischer Bezug

Wundstarrkrampf (Tetanus): Bei dieser Infektions- krankheit hemmt das bakterielle Toxin die Freisetzung inhibitorischer Neurotransmitter aus den Renshaw- Zellen. Somit entfällt die Renshaw-Hemmung und es kommt durch Verkrampfung der Muskulatur zu einem grinsenden Gesichtsausdruck (Risus sardonius), zur Kieferklemme (Trismus) und/oder Opisthotonus (Überstreckung des Rumpfes).

- **Laterale Hemmung:** Ein erregtes sensibles Neu- ron gibt Kollateralen zu inhibitorischen Neuro- nen ab, die dann benachbarte sensible Neurone hemmen (**Umfeldhemmung**). So kommt es zur Kontrastverschärfung, d.h. Fokussierung unter Ausblendung unnötiger Informationen.

Durch synaptische Verschaltungen können Informa- tionen entweder zwischen Gehirn und Rückenmark weitergegeben werden (s. Verbindungsapparat) oder innerhalb des Rückenmarks eigenständig und unterbewusst ablaufen (s. Eigenapparat, S. 86).

4.3.2 Der Verbindungsapparat

Der Verbindungsapparat besteht aus langen Faser- bahnen, die über das Rückenmark zum Gehirn *auf- steigen* oder vom Gehirn kommend zum Rücken- mark *absteigen* (Abb. 4.7).

4.3.2.1 Die aufsteigenden Bahnen

Die aufsteigenden Bahnen bilden sowohl den Hin- terstrang als auch die Randzone des Vorderseiten- strangs. Sie sind Teil einer Kette aus drei Neuronen, über die unterschiedliche sensible Informationen vom peripheren Rezeptor zum somatosensorischen Kortex geleitet werden (s. S. 154). Diese aufsteigen- den Bahnen sind drei Systemen zugeordnet:

- **Hinterstrangsystem = mediales Lemniskussys- tem:** Tractus spinobulbaris
- **anterolaterales System:** Tractus spinothalamicus, Tractus spinoreticularis und Tractus spinome- sencephalicus
- **spinozerebelläres System:** v.a. Tractus spinoce- rebellaris anterior und Tractus spinocerebellaris posterior.



Die zu Tractus zusammengelagerten Axone stammen von Nervenzellen, die entweder das 1. oder das 2. Neuron innerhalb der Informations- kette eines somatosensiblen Systems bilden (s. S. 206). Konzentrieren Sie sich darauf, ob der jeweilige Tractus vor oder nach der ersten Um- schaltung entsteht und ob die in ihm verlaufen- den Fasern bereits gekreuzt sind oder nicht. Dies erleichtert Ihnen das Verständnis der Informati- onsleitung innerhalb der somatosensiblen Systeme und ist nicht nur prüfungsrelevant, son- dern auch von großer klinischer Bedeutung bei Rückenmarksschädigungen.

Der Tractus spinobulbaris (Fasciculus gracilis und Fasciculus cuneatus)

Die zum Tractus spinobulbaris zusammengelager- ten Axone leiten Impulse der Oberflächen- und Tie- fensensibilität (ohne Schmerz- und Temperaturemp- finden). Ihre Perikarya liegen in Spinalganglien; die peripheren Fortsätze (afferente Axone) kom- men von Exterorezeptoren (besonders Mechanore- zeptoren der Haut) und Propriozeptoren (in Mus- keln, Faszien, Sehnen, Gelenkkapseln und Periost),

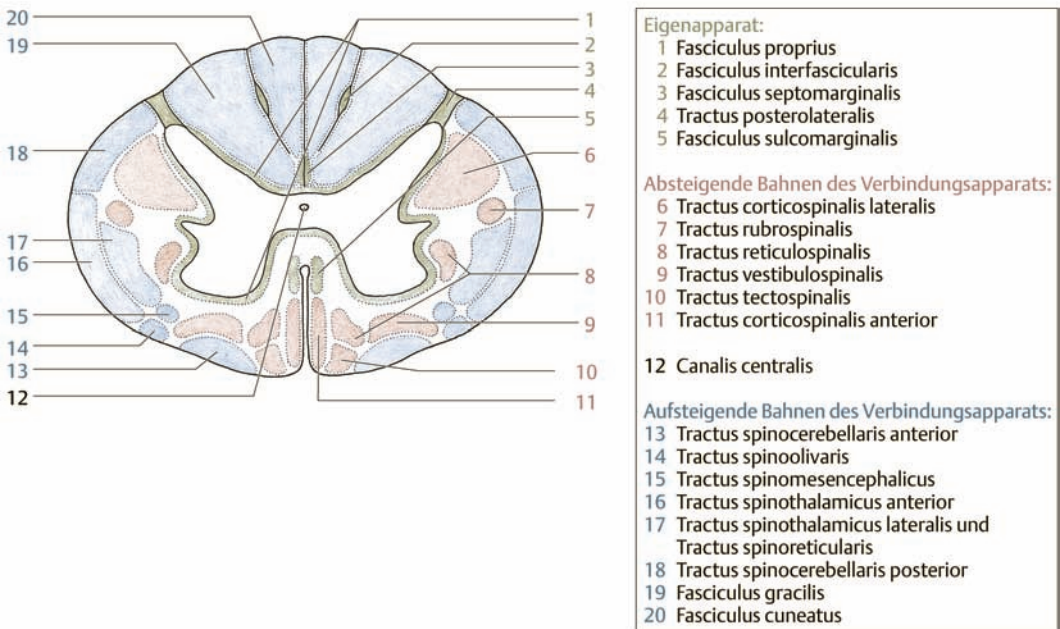


Abb. 4.7 Anordnung der Bahnen im Rückenmarksquerschnitt. Die langen Bahnen des Verbindungsapparats sind in Blau (aufsteigende Bahnen) und Rot (absteigende Bahnen) dargestellt. Die grünen Areale kennzeichnen die Lage von Fasern des Eigenapparats (s. S. 86).

wobei über die Mechanorezeptoren der Haut eine fein diskriminierende Sensibilität vermittelt wird (auch „epikritische Sensibilität“ genannt). Die Fasern des Tractus spinobulbaris sind also Axone des *ersten Neurons* innerhalb der neuronalen Kette des Hinterstrangsystems. Sie verlaufen *ohne Umschaltung* auf der gleichen Seite des Rückenmarks (ipsilateral) aufwärts bis zu den Hinterstrangkernen in der Medulla oblongata (auch Bulbus genannt, daher der Name spinobulbaris).

Der Tractus spinobulbaris ist somatotop gegliedert: Im oberen Brust- und im Halsmark liegen die Axone aus der *unteren* Rumpfhälfte und aus den Beinen *medial* und bilden den **Fasciculus gracilis (Goll-Strang)**. Die Axone aus der *oberen* Rumpfhälfte und aus den Armen liegen *lateral* und formieren sich zum **Fasciculus cuneatus (Burdach-Strang)**.

Die Untergliederung des Tractus spinobulbaris in Fasciculus gracilis und Fasciculus cuneatus ergibt sich dadurch, dass sich von unten nach oben neue hinzutretende Fasern stets von lateral anlagern.

MERKE

Die Hinterstrangbahnen (Fasciculus cuneatus und Fasciculus gracilis) werden im Rückenmark weder umgeschaltet noch kreuzen sie hier auf die andere Seite. Dies geschieht erst im Hirnstamm (Umschaltung in den gleichnamigen Hinterstrangkernen und anschließende Kreuzung im Lemniscus medialis).

Die Tractus spinothalamicus, spinoreticularis und spinomesencephalicus

In diesen beiden Tractus ziehen Axone des *zweiten Neurons* innerhalb der jeweiligen somatosensiblen Neuronenkette. Ihre Perikaryen liegen – mit wenigen Ausnahmen (s. Tractus spinoreticularis) – im kontralateralen Hinterhorn des Rückenmarks meist etwas ober- oder unterhalb der Höhe, auf der das Axon des ersten Neurons eintritt.

Der **Tractus spinothalamicus** leitet Temperatur- und Schmerzimpulse sowie grobe Druck- und Tastempfindungen. Die grobe Mechanosensibilität wird auch als „protopathische Sensibilität“ bezeichnet.

Die Umschaltung vom ersten (Perikaryon im Spinalganglion) auf das zweite Neuron (multipolare Strangzelle) erfolgt im Hinterhorn auf der Eintrittsseite der Nervenwurzel (v. a. in den Laminae I bis III). Besonders in Lamina I finden sich Neurone für die Schmerzweiterleitung. Die Axone der Strangzellen *kreuzen* in der Commissura alba anterior zur Gegenseite und steigen im Seitenstrang auf zum Thalamus. Der Tractus spinothalamicus wird häufig noch in einen (größeren) Tractus spinothalamicus lateralis für die Schmerz- und Temperaturleitung und einen (kleineren) Tractus spinothalamicus anterior für die grobe Mechanosensibilität (und auch Schmerz) unterteilt.

Mit dem Tractus spinothalamicus anterior und von diesem nicht abgrenzbar verlaufen auch die Fasern der Tractus spinoreticularis und spinotectalis.

Die Strangzellen des **Tractus spinoreticularis** haben eine ähnliche Lokalisation wie die des Tractus spinothalamicus. Ihre Axone verlaufen zunächst mit dem Tractus spinothalamicus; dabei verlaufen einige auch ungekreuzt. Im Hirnstamm verlassen die Axone auf unterschiedlichen Höhen den Tractus spinothalamicus, um an Kerngebieten der Formatio reticularis zu enden. Von diesen Kernen ziehen Fasern u. a. zu den intralaminären Thalamuskernen (unspezifische Schmerzverarbeitung).

Vergleichbar dem Tractus spinoreticularis lässt sich noch ein **Tractus spinomesencephalicus** beschreiben, der u. a. zum Tectum mesencephali zieht und daher manchmal auch als Tractus spinotectalis bezeichnet wird. Er verläuft zunächst zusammen mit dem Tractus spinoreticularis und Tractus spinothalamicus und ist auch für die Schmerzweiterleitung von Bedeutung (Projektion auch zu den Kernen der inneren Augenmuskeln im Mesencephalon → Pupillenverengung bei Schmerzen).

Die Tractus spinocerebellares (mit Fibrae cuneocerebellares)

Über das spinocerebelläre System erhält das Kleinhirn (Spinocerebellum) Informationen über die Position des Rumpfes und der Extremitäten und über den Tonus der Muskulatur. Die Informationen stammen aus Propriozeptoren (Spannung und Dehnung in Muskeln, Sehnen, Periost und Gelenkkapseln) und Exterozeptoren der Haut (Druck, Vibration, Berührung).

Die in den spinocerebellären Bahnen zusammengelagerten Nervenfasern sind Axone des 2. Neurons innerhalb der jeweiligen neuronalen Kette.

Der **Tractus spinocerebellaris posterior (Flechsig)** und weiter kranial auch die Fibrae cuneocerebellares (s. u.) leiten fein diskriminierende Informationen aus kleinen rezeptiven Feldern (= Areale der Körperperipherie, von denen jeweils ein sensibles Neuron erregt wird).

Die aus der Hinterwurzel eingetretenen Axone ziehen ipsilateral im Hinterstrang einige Segmente auf- oder abwärts. Sie enden an den Strangzellen (als zweites Neuron) des **Nucleus thoracicus posterior** (Nucleus dorsalis, Stilling-Clarke), der sich von den Rückenmarkssegmenten Th1 bis L2 erstreckt. Die von diesem Kern abgehenden Axone bilden den Tractus spinocerebellaris posterior, der *ipsilateral* im Vorderseitenstrang nach oben zieht, um über den Pedunculus cerebellaris inferior das Kleinhirn zu erreichen.

Afferenzen aus der oberen Körperhälfte ziehen (über den Fasciculus cuneatus) zusätzlich zum Nucleus cuneatus accessorius (Monakow, entspricht dem Nucleus thoracicus posterior). Hier erfolgt die Umschaltung auf das zweite Neuron. Die Axone ziehen ebenfalls *ipsilateral* (als Fibrae arcuatae externae posteriores = **Fibrae cuneocerebellares**) über den Pedunculus cerebellaris inferior in das Spinocerebellum.

Der **Tractus spinocerebellaris anterior (Gower)** leitet Informationen aus größeren rezeptiven Feldern (Sehnenspindeln, Haut) der unteren Körperhälfte.

Die Axone des ersten Neurons aus der unteren Körperhälfte ziehen im ipsilateralen Fasciculus gracilis zu Strangzellen im lumbosakralen Rückenmark (Laminae V bis VIII). Die meisten Axone der Strangzellen *kreuzen* zur Gegenseite und bilden den Tractus spinocerebellaris anterior, der in der Randzone des Vorderseitenstrangs aufsteigt. Die gekreuzten Axone ziehen im Mittelhirn *erneut zur Gegenseite* (Decussatio pedunculorum cerebellarium superiorum) und sind damit *wieder ipsilateral*. Der Tractus spinocerebellaris anterior zieht über den Pedunculus cerebellaris superior ins Spinocerebellum.

Ebenso wie beim Tractus spinocerebellaris posterior (s. Fibrae cuneocerebellares) gibt es auch für den Tractus spinocerebellaris anterior ein Äquivalent für die obere Körperhälfte. Die Strangzellen

(zweites Neuron) liegen im Nucleus cervicalis centralis. Seine Axone bilden den **Tractus spinocerebellaris superior**, der *ipsilateral* (über den oberen und unteren Kleinhirnstiel) ins Spinocerebellum zieht. Kleine aufsteigende Bahnen lassen sich noch dem spinozerebellären System zuordnen: Der Tractus spinoolivaris zieht kontralateral zu den Nuclei olivares accessorii. Von dort ziehen Axone mit dem Tractus spinovestibularis. Über den Tractus spino-vestibularis werden Impulse zu den Nuclei vestibulares und von dort zum Kleinhirn geleitet.

MERKE

Die spinozerebellären Bahnen kreuzen entweder gar nicht oder zwei Mal.

Klinischer Bezug

Propriozeptive Störungen bei Kleinhirnläsionen treten aufgrund dieses Verlaufs der spinozerebellären Fasern stets ipsilateral auf.

4.3.2.2 Die absteigenden Bahnen

Die langen absteigenden Bahnen ziehen im **Vorderseitenstrang**; dazu gehören somatomotorische und vegetative Bahnen. Bei den somatomotorischen Bahnen lassen sich die Pyramidenbahn und die extrapyramidalen Bahnen unterscheiden. Während die Pyramidenbahn ohne Umschaltung verläuft, sind die extrapyramidalen Bahnen meist polysynaptisch.

Die Tractus corticospinales

Die Tractus corticospinales bilden den größten Teil der Pyramidenbahn und sind – mit Ausnahme der durch die Hirnnerven innervierten Muskulatur – für die willkürliche Motorik verantwortlich (s. S. 199).

Die Axone aus verschiedenen (v.a. motorischen) Kortexgebieten sind die Fibrae corticospinales, von denen die meisten (75–90 %) am unteren Ende der Medulla oblongata in der Decussatio pyramidum zur Gegenseite kreuzen.

Diese gekreuzten Fasern bilden den **Tractus corticospinalis lateralis**, der in der hinteren Hälfte des Seitenstrangs nach unten verläuft.

Die nicht-gekreuzten Fasern formieren sich zum (dünnen) **Tractus corticospinalis anterior**, der neben der Fissura mediana anterior nach unten zieht. Die Fasern dieses Tractus kreuzen auf Höhe ihres Zielsegments (über die Commissura alba anterior) zur Gegenseite, d.h. in das kontralaterale Vorderhorn.

MERKE

Alle Fasern des Tractus corticospinalis kreuzen, jedoch auf unterschiedlicher Höhe: Die im Tractus corticospinalis *lateralis* verlaufenden Axone entstammen dem *kontralateralen* Kortex, da die Kreuzung bereits in der Decussatio pyramidum stattgefunden hat, während die im Tractus corticospinalis *anterior* zusammengelagerten Fasern erst auf Rückenmarksebene kreuzen und somit aus *ipsilateralen* Kortexgebieten kommen.

Die extrapyramidalen Bahnen

Die Funktionen des extrapyramidal-motorischen Systems (s. S. 200) sind

- unwillkürliche Steuerung/Koordination von Bewegungen
- Regulation der Stützmotorik (aufrechte Körperhaltung)
- Regulation von unbewussten/unwillkürlichen Mitbewegungen
- mechanischer Ablauf erlernter Bewegungsmuster
- geordneter Ablauf von Willkürbewegungen (z.B. durch An- oder Entspannung von Muskelgruppen), d.h. das extrapyramidal-motorische System ist die Grundlage des pyramidal-motorischen.

Die extrapyramidalen Bahnen beginnen in subkortikalen Zentren, ziehen *im Vorderseitenstrang* des Rückenmarks abwärts und enden über Interneurone oder direkt an α -Motoneuronen (und z.T. auch an γ -Motoneuronen).

Es werden folgende Bahnen unterschieden s. auch S. 204:

- Tractus reticulospinalis: aus der Formatio reticularis des Pons (pontine Fasern) und der Medulla oblongata (medulläre Fasern)
- Tractus vestibulospinalis lateralis und medialis: aus den Nuclei vestibulares, s. S. 217

- Tractus tectospinalis: aus dem Colliculus superior, s. S. 102
- Tractus rubrospinalis: aus dem Nucleus ruber, s. S. 101.
- Tractus olivospinalis: aus dem unteren Olivenkomplex, s. S. 96.

4.3.3 Der Eigenapparat und die spinalen Reflexe

Im Eigenapparat sind Neurone innerhalb des Rückenmarks synaptisch verbunden.

Die intersegmentalen Faserbahnen des **Eigenapparats** liegen vorwiegend als schmaler Streifen (Grundbündel, Fasciculi proprii) direkt der grauen Substanz an: **Fasciculi proprii anterior, lateralis und posterior** (Abb. 4.7, s. S. 83).

Dazu kommen noch Faserbahnen, die in der weißen Substanz zwischen den Bahnen des Verbindungsapparats liegen:

- **Fasciculus septomarginalis**: ovales Bündel, am Septum medianum posterius
- **Fasciculus interfascicularis**, Schultze-Komma: zwischen Fasciculus gracilis und cuneatus
- **Fasciculus sulcomarginalis**: schmales Faserbündel direkt an der Fissura mediana anterior.

Die Eigenleistungen des Rückenmarks sind die **spinalen Reflexe**, die unabhängig von supraspinalen Zentren ablaufen können (unwillkürlich, unbewusst). Der Eigenapparat steht aber auch unter dem Einfluss supraspinaler Zentren, durch die z. B. eine Hemmung der Reflexe möglich ist. Bei den spinalen Reflexen werden unterschieden:

- somatische Reflexe: Eigenreflex und Fremdreflex
- viszerale Reflexe (Eingeweidereflexe)
- gemischte Reflexe.

Bei einigen Reflexen sind intersegmentale Faserverbindungen, die durch Strangzellen gebildet werden, beteiligt.

4.3.3.1 Die somatischen Reflexe

Der Muskeleigenreflex

Der Eigenreflex basiert auf dem einfachsten Reflexbogen, bei dem afferente (sensible) und efferente (motorische) Neurone über eine Synapse verbunden sind (**monosynaptischer Reflex**). Die afferenten Signale kommen aus Muskelspindeln (= Dehnungsrezeptoren, s. S. 255) und werden im Rückenmark

direkt an α -Motoneurone übermittelt (Glutamat als Transmitter). Letztere erregen über motorische Endplatten, die Synapsen zwischen Nerv und Muskel mit Acetylcholin als Transmitter, denselben Muskel (→ Kontraktion; Dehnungsreflex). Durch die Kontraktion erschlaffen die Muskelspindeln und der Reflex ist beendet.

Über Kollateralen der afferenten Fasern beim Dehnungsreflex werden inhibitorische Interneurone aktiviert, die Motoneurone von antagonistischen Muskeln hemmen (→ Antagonistenerschlaffung; reziproke antagonistische Hemmung).

Die Eigenreflexe dienen der Kontrolle der Muskelänge; dadurch kann die Länge von Muskeln konstant gehalten werden (Haltetonus).

Die Fremdreflexe

Bei Fremdreflexen sind zwischen den afferenten und efferenten Neuronen stets ein oder mehrere Interneurone und Strangzellen geschaltet.

Der **polysynaptische** motorische Reflex läuft über mehrere Rückenmarkssegmente; Reiz und Antwort liegen – im Gegensatz zum Eigenreflex – nicht im gleichen Organ. Die Rezeptoren können in der Muskulatur, in Gelenken oder in der Haut liegen. So führt ein Schmerzreiz distal am Bein zur Kontraktion der Flexoren (→ Zurückziehen des Beines; Flexorreflex). Gleichzeitig kann es am kontralateralen Bein zu einer Streckung kommen (→ Übernahme der Körperlast; gekreuzter Extensorenreflex).

Klinischer Bezug

Pathologische Reflexe: Neben den in Tabelle 4.3 aufgeführten physiologischen Fremdreflexen, sind auch wichtige pathologische Reflexe Fremdreflexe. Ein Beispiel hierfür ist der Babinski-Reflex, der auf eine Schädigung der Pyramidenbahn hindeutet (daher spricht man auch von sog. Pyramidenbahnzeichen, zu denen noch einige andere pathologische Fremdreflexe zählen): Beim Bestreichen der lateralen Fußsohle kommt es zur Dorsalextension der Großzehe (und meist Spreizen der übrigen Zehen). Diese Reaktion tritt physiologischer Weise nur bei Kindern vor dem zweiten Lebensjahr auf, solange die Pyramidenbahn noch nicht vollständig myelinisiert ist; bei älteren Kindern oder Erwachsenen ist dieser Reflex als pathologisch anzusehen.

Tabelle 4.2

Klinisch wichtige Muskeigenreflexe (MER)				
Reflex	Auslösung	Erfolg	RM-Segmente	peripherer Nerv
Bizepssehnenreflex	Schlag auf die Sehne des M. biceps brachii	Kontraktion des M. biceps brachii (Kennmuskel für C5* und C6**) → Flexion im Ellenbogengelenk	C5–C6	N. musculocutaneus
Trizepssehnenreflex	Schlag auf die Sehne des M. triceps brachii	Kontraktion des M. triceps brachii (Kennmuskel für C7) → Extension im Ellenbogengelenk	C6–C8	N. radialis
Patellarsehnenreflex	Schlag auf das Lig. patellae	Kontraktion des M. quadriceps femoris (Kennmuskel für L4) → Extension im Kniegelenk	L2–L4	N. femoralis
Achillessehnenreflex	Schlag auf die Achillessehne	Kontraktion des M. triceps surae (Kennmuskel für S1) → Extension im Sprunggelenk	L5–S2	N. tibialis
* zusammen mit M. deltoideus ** zusammen mit M. brachioradialis				

Tabelle 4.3

Klinisch wichtige Fremdreflexe				
Reflex	Auslösung	Erfolg	RM-Segmente	beteiligte Nerven
Bauchhautreflex (BHR)	Bestreichen der Bauchhaut (schnelle Bewegung von lateral Richtung Medianlinie)	Kontraktion der Bauchmuskeln → Ziehen der Bauchhaut zur gereizten Seite	Th6–Th8 (oberer BHR) Th8–Th10 (mittlerer BHR) Th10–Th12 (unterer BHR)	N. subcostalis N. iliohypogastricus N. ilioinguinalis
Kremasterreflex	Bestreichen der Innenseite des Oberschenkel	Kontraktion des M. cremaster	L1–L2	N. genitofemoralis
Analreflex	Bestreichen der Perianal region	Kontraktion des M. sphincter ani externus	S3–S5	N. anococcygeus N. pudendus

Klinischer Bezug

Traumatische Rückenmarksläsion: Durch Traumata kann es entweder zum kompletten oder halbseitigen Querschnittssyndrom kommen:

- **Komplettes Querschnittssyndrom:** Das akute Stadium ist gekennzeichnet durch den sog. spinalen Schock. Darunter versteht man eine komplette schlaffe Lähmung, Ausfall der Eigen- und Fremdreflexe, vollständige Lähmung der Blase und des Darms und Sensibilitätsausfall (alle Qualitäten). In späteren Stadien äußert sich das Querschnittssyndrom anders: Bedingt durch den Ausfall supraspinaler Afferenzen zu den Rückenmarksneuronen werden letztere durch spinale Afferenzen stärker erregt, sodass folgende Symptome resultieren:
 - spastische *Paraplegie* (Parese der Beine bei Brustmarkläsionen) bzw. *Tetraplegie* (Parese der Arme und Beine bei Halsmarkläsionen) mit Be-

stellung besonders der Beine mit Hyperreflexie und positivem Babinski-Reflex (Bestreichen der lateralen Fußsohle)

- **Rückenmarksautomatismen** (Retraktionsreflex, ausgelöst durch passive Flexion und Supination des Fußes)
- Die Sensibilitätsstörungen bleiben unverändert wie im akuten Stadium.
- **Halbseitensyndrom des Rückenmarks (Brown-Séquard):** Auf der *Läsionsseite* unterhalb der Schädigungshöhe treten auf: spastische Parese, gesteigerte Eigenreflexe, Aufhebung der feindiskriminierenden Sensibilität und der Tiefensensibilität. Auf der *Gegenseite* liegt eine Störung der Schmerz- und Temperaturempfindung (**dissoziierte Sensibilitäts- oder Empfindungsstörung**) kaudal der Läsionshöhe vor.

4.3.3.2 Die viszeralen Reflexe

Durch viszerale (oder besser: viszeroviszerale) Reflexe können verschiedene Reaktionen hervorgerufen werden: Beispielsweise können von Eingeweiderezeptoren Signale zum Rückenmark gehen, die dort auf präganglionäre Neurone weitergeleitet werden und dann nach Umschaltung auf postganglionäre Neurone (im PNS) z.B. in der Haut eine Gefäßreaktion auslösen (→ Rötung eines Hautgebiets, viszerokutaner Reflex). Auch kann eine viszerale Afferenz Druck oder Spannung zum Rückenmark melden, was dann eine reflektorische Anspannung (Spasmus) der glatten Muskulatur auslöst (→ kolikartige Schmerzen z.B. bei Gallensteinen). Bestimmte viszerale Reflexe werden über sympathische und parasympathische Zentren (spinoviszzerale Reflexzentren) gesteuert:

- **Centrum ciliospinale:** Sympathikus an der Grenze zwischen Hals- und Brustmark → Pupillenerweiterung und Öffnung der Lidspalte (s. S. 222)
- **Centrum vesicospinale:** Sympathikus im Lumbalmark (L1–L2) → tonischer Verschluss des Harnblasensphinkters; Parasympathikus im Sakralmark (S2–S4) → Förderung der Harnblasenentleerung
- **Centrum anospinale:** Lage wie Centrum vesicospinale, Sympathikus → Verschluss des Anus (tonischer Verschluss des Sphinkters), Parasympathikus → Kontraktion der Muskulatur im distalen Kolon und Rektum sowie Erschlaffung des Sphinkters
- **Centrum genitospinale:** Lage wie Centrum vesicospinale, Parasympathikus → Erektion, Sympathikus → Ejakulation.

Diese Zentren unterliegen der Steuerung durch übergeordnete Zentren (z.B. pontines Miktionszentrum, s. S. 104).

Klinischer Bezug

Konussyndrom: Bei isolierter Schädigung des Conus medullaris (entspricht den Rückenmarkssegmenten S3–S5), z.B. durch einen Tumor oder massiven Bandscheibenvorfall in Höhe der Wirbel L1/L2, kommt es zu Miktions-, Defäkations- und Sexualfunktionsstörungen. Zusätzlich sind Sensibilitätsstörungen im perianalen Bereich und an den Oberschenkelinnenseiten charakteristisch („Reithosenanästhesie“).

Kaudasyndrom: Ist die Cauda equina geschädigt (z.B. durch einen medialen Bandscheibenvorfall), tritt zusätzlich zu o.g. Symptomen eine beidseitige Lähmung der Beine (Paraparese). Die radikulären Sensibilitätsstörungen erstrecken sich ebenfalls bis zur unteren Extremität.

4.3.3.3 Die gemischten Reflexe

Diese Reflexe basieren darauf, dass auf Rückenmarksebene

- Kollateralen von Viszeroafferenzen zu Somatoafferenzen oder
- Kollateralen von Somatoafferenzen zu Viszeroafferenzen ziehen.

Beim **viszeromotorischen Reflex** gelangen Schmerzsignale aus inneren Organen zu α -Motoneuronen. Letztere rufen eine Kontraktion der ipsilateralen Bauchwandmuskeln hervor (Abwehrspannung).

Beim **kutiviszeralen Reflex** gelangen Signale aus der Haut (z.B. aus Temperaturrezeptoren bei therapeutischer Wärmeapplikation) an Viszeroafferenzen (für Viszeromotorik → reflektorische Entspannung von Eingeweidemuskulatur).

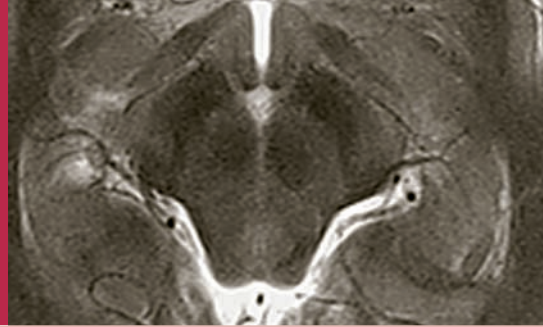
4.3.4 Der übertragene Schmerz

Grundlage des sog. übertragenen Schmerzes ist, dass Viszeroafferenzen und Schmerzafferenzen aus der Haut auf dieselben Strangzellen des Rückenmarks (→ Tractus spinothalamicus) treffen. Da die supraspinalen Strukturen „gelernt“ haben, dass Schmerzen meist von der Körperoberfläche kommen, kommt es bei Signalen aus den Viszeroafferenzen zu Schmerzen oder gesteigerter Berührungsempfindlichkeit in definierten segmentbezogenen Hautarealen (**Head-Zonen**). Beispielsweise treten bei Angina pectoris oder Herzinfarkt Schmerzen an der Innenseite des Oberarms und in einem gürtelförmigen Areal links am Thorax auf.



Check-up

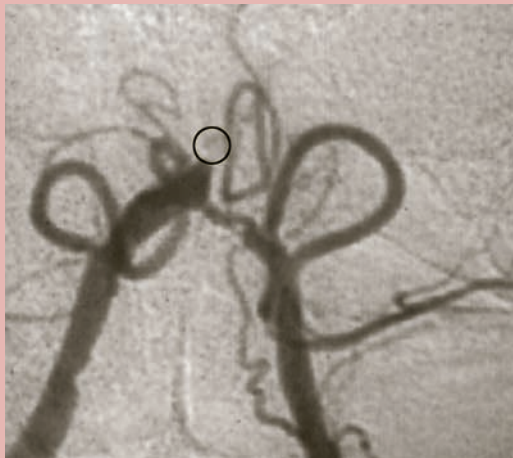
- ✓ Rekapitulieren Sie, welche Funktionen die Interneurone des Rückenmarks haben und über welche Transmitter sie wirken.
- ✓ Machen Sie sich klar, welche Bahnen im Vorderseitenstrang verlaufen.
- ✓ Wiederholen Sie zu den wichtigsten im Rückenmark verlaufenden Bahnen, ob bzw. auf welcher Höhe sie kreuzen.
- ✓ Überlegen Sie in diesem Zusammenhang, wie sich ein Halbseitensyndrom des Rückenmarks äußert und wie dies zustande kommt.
- ✓ Machen Sie sich klar, welche Bahn ihren Ursprung im Nucleus thoracicus posterior des Hinterhorns (Nucleus dorsalis, Stilling-Clarke) hat.



Hirnstamm (Truncus encephali)

- 5.1 Der Überblick 93
- 5.2 Die Medulla oblongata 94
- 5.3 Der Pons 97
- 5.4 Das Mesencephalon 99
- 5.5 Die Formatio reticularis 102
- 5.6 Die Bahnen im Hirnstamm 105
- 5.7 Die Hirnnervenkerne und Austrittsstellen der Hirnnerven 108

Hirnstamm in Gefahr



Der fehlenden angiographischen Darstellbarkeit der A. basilaris liegt ein proximaler Verschluss des Gefäßes zugrunde (o). Zudem besteht hier eine einseitige distale Vertebralisstenose.

Der Hirnstamm hat drei Abschnitte: verlängertes Mark (Medulla oblongata), Brücke (Pons) und Mittelhirn (Mesencephalon). Im Hirnstamm befinden sich unter anderem das Atem- und das Brechzentrum, die Kreuzung der Pyramidenbahn und Hirnnervenkerne. Läsionen im Hirnstammbereich sind immer schwerwiegend. Blutungen, Traumen oder Ischämien zählen zu den Ursachen der Schädigungen.

Schwindel und Sprechstörung

Norbert M. ist Professor aus Leib und Seele. Obwohl er längst nicht mehr arbeiten müsste, hält der 73-jährige Physik-Dozent noch immer Vorlesungen an der Universität. Wie gewöhnlich ist auch heute sein Hörsaal voll. Doch etwas stimmt nicht: Während er die Versuchsreihe zum Energieerhaltungssatz aufstellt, wird Herrn M. plötzlich schwindelig. Einen Augenblick lang kann er Worte, die er im Kopf formuliert hält, nicht richtig aussprechen. Silben, die seine Lippen verlassen, hören sich verschwommen an – als wäre er nicht in der Lage, die Sprechmuskeln zu koordinieren. Gleichzeitig bemerkt er ein Taubheitsgefühl im Gesicht. Nach ein paar Sekunden sind die Störungen verschwunden.

Übelkeit und Doppelbilder

Der Gedanke daran, dass mit seinem Kopf vielleicht etwas nicht stimmt, lässt Norbert M. keine Ruhe. Unmittelbar nach der Vorlesung ruft er bei einem Neurologen in der Stadt an und vereinbart einen Sprechstundentermin für den folgenden Tag.

Am nächsten Morgen wird dem Professor auf dem Weg ins Badezimmer wieder schwindelig. Den Schwindel begleiten diesmal Übelkeit und Doppelbilder. Als der 73-jährige die Küche betritt, um seiner Frau von den Beschwerden zu erzählen, wird ihm schwarz vor den Augen – er kollabiert.

Ein Fall für den Notarzt

„Bitte EKG, Blutdruck, Pulsoxymeter, BGA, Monitoring. Ich nehme gleich Blut ab“, tönt die Stimme des Assistenzarztes Dr. Kaminski in der Notaufnahme. Er übernimmt den Patienten vom Notarzt und studiert den Notfallbericht: „Dysarthrie, Schwindel, Doppelbilder, Synkope. Bei Ankunft Patient nicht ansprechbar, im RTW wach, aber verwirrt. Tetraparese, Okulomotoriusstörung beidseits, RR 190/90, HF 88/min, O₂-Sättigung 97 %.“ Frau M. berichtet, dass ihr Mann vor etwa einer Stunde die Küche betreten, „wirres Zeug“ gesprochen habe und plötzlich umfiel. Sie habe sofort den Notarzt gerufen.

Blutungs Ausschluss im CT

Dr. Kaminski stellt differenzialdiagnostische Überlegungen an und konsultiert einen erfahrenen Oberarzt. Die zunehmende Somnolenz, verbunden mit Lähmung aller vier Extremitäten, Sprechstörungen, Schwindel und Doppelbildern lassen die Ärzte einen Prozess in den hirnstammversorgenden Arterien vermuten. Jetzt muss es schnell gehen: Um eine Blutung auszuschließen, lassen sie bei Herrn M. eine Computertomographie des Schädels anfertigen. Das CT-Bild zeigt, dass keine Blutung stattgefunden hat.

Entscheidung: Lyse

Da die Prognose ohne Therapie sehr schlecht ist, entscheiden sich die behandelnden Ärzte für eine Angiographie der hirnstammversorgenden Gefäße. Während der Untersuchung sehen sie, dass der Blutfluss innerhalb der Arteria basilaris unterbrochen ist. Ein Blutgerinnsel verstopft das Gefäß. Um es zu zerstören, spritzen die Ärzte die Substanz rtPA in die Arterie hinein. Auf diese Weise gelingt es ihnen, den Thrombus aufzulösen.

Trotz der erfolgreichen Lyse-Therapie geht es Norbert M. noch lange Zeit nicht gut. Nach einem halben Jahr Rehabilitationsarbeit reicht seine Muskelkraft immer noch nicht aus, um ohne Hilfe zu stehen. Physik-Vorlesungen wird der engagierte Dozent in nächster Zeit auf keinen Fall halten können, aber er weiß, wie glücklich er sich schätzen kann, eine Basilaristhrombose überlebt zu haben.

5 Hirnstamm (Truncus encephali)

5.1 Der Überblick

Zum Hirnstamm gehören das verlängerte Mark (**Medulla oblongata**), die Brücke (**Pons**) und das Mittelhirn (**Mesencephalon**). Somit grenzt der Hirnstamm kaudal an das Rückenmark (S. 75) und kranial an das Zwischenhirn (Diencephalon, S. 129). Der Hirnstamm gliedert sich grundsätzlich in drei *längs* orientierte Schichten, die jedoch nur im Mesencephalon voll ausgebildet sind (**Abb. 5.1**):

- Basis (anterior)
- Tegmentum (Haube, mittlere Schicht)
- Tectum (posterior).

Die **Basis** enthält vor allem absteigende motorische Fasern. Im **Tegmentum** findet sich eine Mischung aus weißer und grauer Substanz. In der weißen Substanz verlaufen zum einen kürzere Faserbündel, die innerhalb des Hirnstamms Verbindungen herstellen, zum anderen auch lange auf- und absteigende Bahnen, die durch den Hirnstamm hindurch ziehen. Die graue Substanz besteht u.a. aus den Kernen der Hirnnerven III–XII, der Formatio reticularis, Pons-Kernen, Nucleus ruber und Substantia nigra. Anordnung und Funktion der Hirnnerven-

kerne sind kompliziert und werden, genau wie die sich über den gesamten Hirnstamm erstreckende Formatio reticularis, systematisch besprochen (s. S. 108 und S. 102). Das **Tectum** ist nur im Mittelhirn vorhanden (in Form der Vierhügelplatte → Schaltstellen im visuellen und auditorischen System). Im Bereich der Medulla oblongata und des Pons können die Vela medullaria als eine Art Relikt der dritten Schicht angesehen werden.

Die jeweils charakteristischen Strukturen, die dem inneren Aufbau der einzelnen Abschnitte und damit ihrer durchgängigen Gliederung in *längs* orientierte Schichten zugrunde liegen, können Sie am besten in Querschnitten sehen (Medulla oblongata: Abb. 5.4, S. 96, Pons: Abb. 5.5, S. 98 und Mesencephalon: Abb. 5.6, S. 100). Vergleichen Sie die Form der Querschnittsbilder untereinander und versuchen Sie, die verschiedenen Kerne und Bahnen innerhalb der Abschnitte zu benennen.

Der Hirnstamm ist dorsal über drei Stiele mit dem Kleinhirn verbunden (Pedunculi cerebellares aus Faserbündeln zum und vom Kleinhirn, s. S. 124).

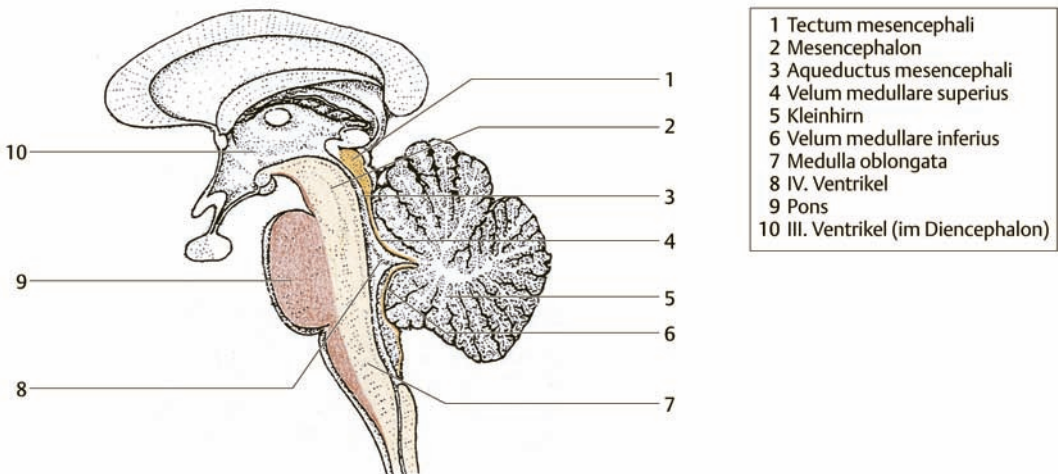
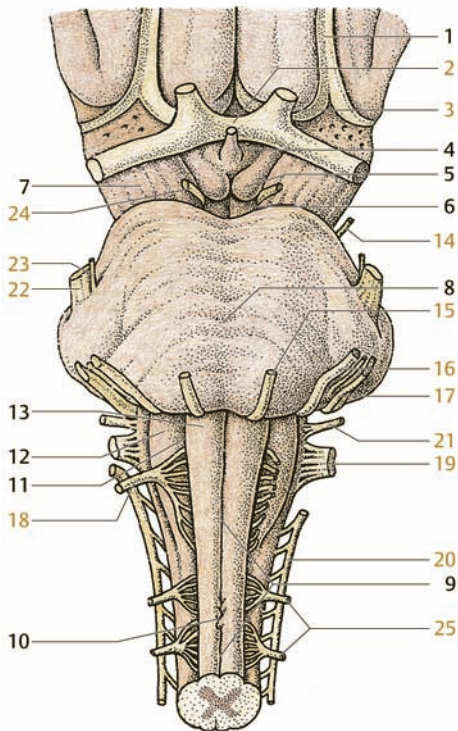


Abb. 5.1 Medianschnitt durch den Hirnstamm
Die unterschiedlich eingefärbten *längs* orientierten Schichten ziehen sich durch die drei Abschnitte hindurch. Dabei ist die hintere vor allem im Mesencephalon ausgebildet (Tectum mesencephali) während weiter kaudal das Kleinhirn dem Hirnstamm dorsal anliegt.



Telencephalon:	Hirnnerven mit Austritt aus dem Hirnstamm:
1 Tractus olfactorius	14 N. trochlearis (IV)
Diencephalon:	15 N. abducens (IV)
2 Chiasma opticum	16 N. facialis (VII) mit N. intermedius
3 N. opticus (II)	17 N. vestibulocochlearis (VIII)
4 Infundibulum	18 N. glossopharyngeus (IX)
5 Corpus mammillare	19 N. vagus (X)
Mesencephalon:	20 N. accessorius (XI)
6 Fossa interpeduncularis	21 N. hypoglossus (XIII)
7 Crus cerebri	22 N. trigeminus (V) mit: N. trigeminus (V) mit:
Pons:	22 Radix motoria
8 Sulcus basilaris	23 Radix sensoria
Medulla oblongata:	24 N. oculomotorius (III)
9 Fissura mediana anterior	Spinalnervenzurzel:
10 Decussatio pyramidum	25 Radix anterior n. spinalis 1 und 2
11 Sulcus anterolateralis	
12 Oliva	
13 Pyramis	

Abb. 5.2 Ansicht des Hirnstamms mit angrenzenden Strukturen von vorn

5.2 Die Medulla oblongata



Lerncoach

Konzentrieren Sie sich beim Lesen des folgenden Abschnitts besonders auf die Lage und Verbindungen folgender charakteristischer Strukturen der Medulla oblongata: Kreuzung der absteigenden Pyramidenbahn, Hinterstrangkern als Umschaltstation für aufsteigende Bahnen aus dem Rückenmark und unterer Olivenkomplex.

5.2.1 Die Lage und Oberfläche der Medulla oblongata

Die Medulla oblongata (verlängertes Mark, manchmal auch als Bulbus bezeichnet) ist birnenförmig und ca. 3 cm lang. Sie reicht definitionsgemäß vom Unterrand der Brücke bis oberhalb des Austritts des ersten Spinalnerven und geht hier ohne er-

kennbare Grenze in das Rückenmark über (daher „verlängertes“ Mark).

Vorne liegt in der Mittellinie die **Fissura mediana anterior** (vom Rückenmark bis zum Unterrand der Brücke). Kranial endet die Fissur mit einer kleinen Erweiterung (Foramen caecum).

Beidseits der Fissur findet sich ein Längswulst aus Fasern der Pyramidenbahn (S. 200), die **Pyramis** (Pyramide). Am unteren Ende der Medulla oblongata befinden sich kleinere schräg orientierte Bündel kreuzender Fasern zwischen den Pyramiden: **Decussatio pyramidum** (Pyramidenkreuzung, Abb. 5.2). Hier kreuzen Fasern des Tractus corticospinalis zur Gegenseite (S. 85).

Seitlich wölben sich im oberen Teil hinter den Pyramiden die **Olivae** vor. Zwischen Pyramide und Olive liegt der **Sulcus anterolateralis** (oder **Sulcus preolivaris**).

Hier treten die Wurzelfäden des N. hypoglossus aus. Hinter der Olive verlassen die Wurzelfasern des N. glossopharyngeus, N. vagus und N. accesso-

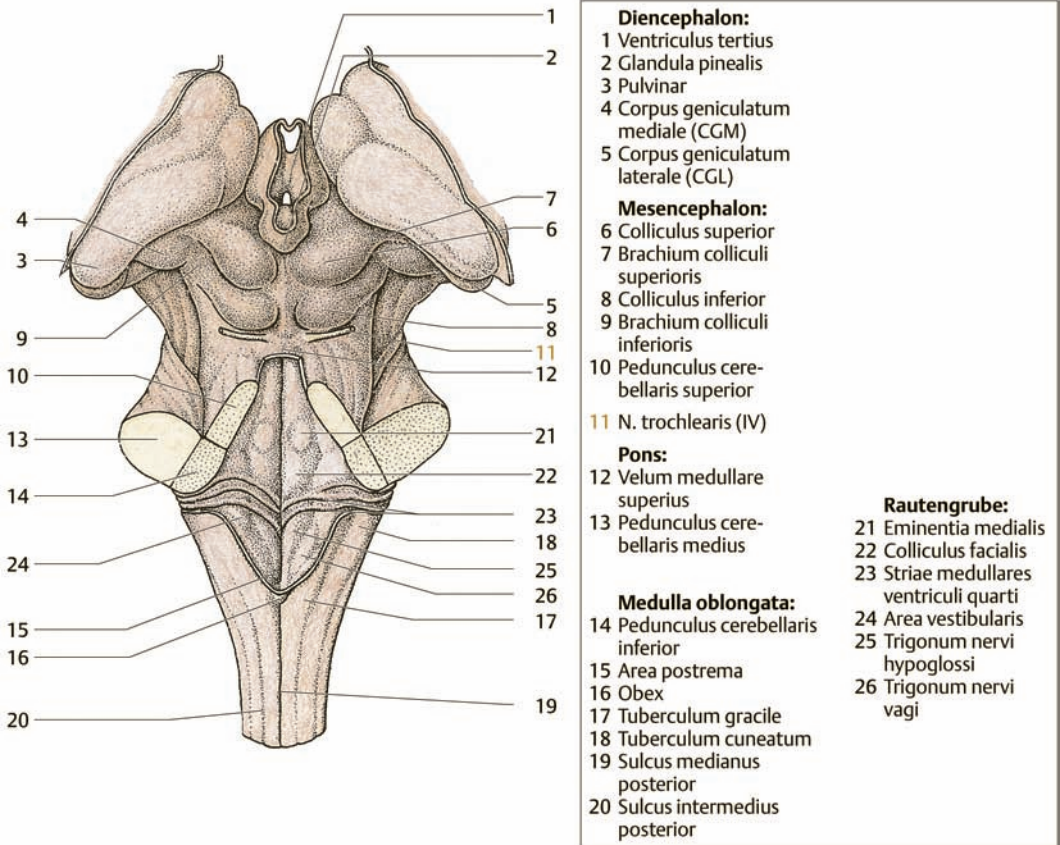


Abb. 5.3 Ansicht des Hirnstamms mit angrenzenden Strukturen von hinten

rius (seine Radix cranialis) im **Sulcus retroolivaris** das Gehirn.

Dorsal erkennt man als Fortsetzung der hinteren Rinne des Rückenmarks den **Sulcus medianus posterior**, der etwa am Übergang zur oberen Hälfte der Medulla oblongata an einer schmalen quer verlaufenden Marklamelle (**Obex**) endet (Abb. 5.3). Beidseits des Sulcus medianus posterior liegen die beiden Hinterstränge aus dem Rückenmark: medial der **Fasciculus gracilis** (Goll-Strang, Fasern aus der unteren Körperhälfte) und lateral der **Fasciculus cuneatus** (Burdach-Strang, Fasern aus der oberen Körperhälfte); zwischen beiden liegt der flache Sulcus intermedius posterior. Die beiden Faszikel, die zur Hinterstrangbahn gehören, enden jeweils mit einer Anschwellung: **Tuberculum gracile** und **Tuberculum cuneatum**, die den **Nucleus gracilis** und **Nucleus cuneatus** als wichtige Umschaltstationen für die Lei-

tung mechanorezeptiver und propriozeptiver Information enthalten (s. S. 206).

Die beiden Tubercula sind am Unterrand der Rautengrube schräg nach oben-lateral ausgerichtet. Seitlich vom Tuberculum cuneatum findet sich das flache Tuberculum trigeminale als Vorwölbung des spinalen Trigeminskerns (s. S. 111).

Vom oberen Teil der Medulla oblongata steigt der untere Kleinhirnstiel (Pedunculus cerebellaris inferior, s. S. 124) nach dorsal zum Kleinhirn auf. Der obere mittlere Teil der Dorsalseite der Medulla bildet einen Teil der Rautengrube (s. S. 176).

MERKE

Die Oberfläche der Medulla oblongata wird ventral durch die Pyramiden und Oliven geprägt, dorsal durch die Tubercula gracile und cuneatum.

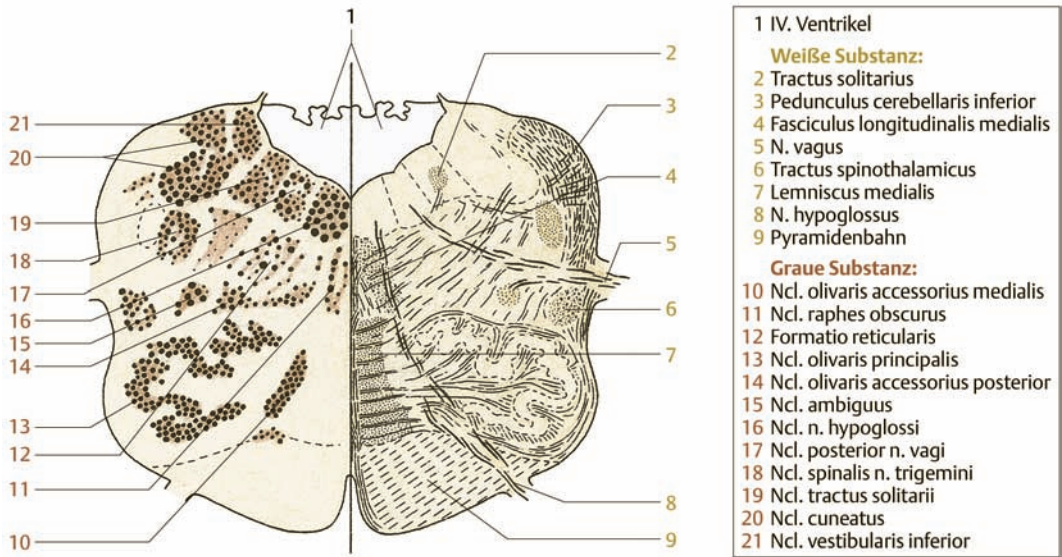


Abb. 5.4 Querschnitt durch die Medulla oblongata mit Darstellung der Kerne (links) und Fasersysteme (rechts)

Die genaue funktionelle Bedeutung dieser Strukturen erfahren Sie in Kapitel 11 (S. 199). Sie können sich jedoch jetzt schon merken, dass die ventral gelegenen Strukturen im Dienste der Motorik stehen und die dorsalen eine wichtige Funktion im Rahmen der Sensibilität haben.

5.2.2 Die Gliederung und der innere Aufbau der Medulla oblongata

Das verlängerte Mark gliedert sich in:

- **anteriores Areal** und
- **Tegmentum**.

Dorsal zieht das Velum medullare inferior zum Kleinhirn.

5.2.2.1 Die Strukturen im anterioren Areal und im Tegmentum der Medulla oblongata

Das anteriore Areal besteht aus Fasern der Pyramidenbahn (Tractus corticospinalis).

Im Tegmentum, dem größten Teil der Medulla oblongata, liegen (Abb. 5.4):

- die Kerne der Hirnnerven VIII bis XII und teilweise von V
- Anteile der Formatio reticularis (s. S. 102)

- das Olivensystem (Relaiskern im motorischen System, s. u.)
- zahlreiche Faserbahnen: lange aufsteigende Bahnen (z.B. Tractus spinothalamicus, s. S. 83) und Bahnen, die innerhalb des Hirnstamms verlaufen (z.B. Tractus tementalis centralis, s. u.).

5.2.2.2 Das Olivensystem (Complexus olivaris inferior, Nuclei olivares inferiores)

Lassen Sie sich nicht durch die verschiedenen Begriffe, deren Bezeichnung den Wortteil „olivaris“ trägt, verwirren. Da die im Folgenden beschriebenen Kerne die an der Medulla oblongata beidseits sichtbare Olive bedingen, ist im Allgemeinen der untere Olivenkomplex gemeint, wenn von der „Olive“ gesprochen wird. Achten Sie darauf, dass Sie ihn nicht mit dem oberen Olivenkomplex verwechseln, der zur Hörbahn gehört und im Pons liegt.

Der Complexus olivaris inferior besteht aus dem

- Hauptkern (**Nucleus olivaris principalis**) und den
- Nebenoliven (**Nuclei olivares accessorii posterior** und **medialis**).

Der Hauptkern hat die Form eines Beutels mit gefalteter Wand, der nach medial geöffnet ist. Die Öffnung wird als **Hilum** bezeichnet; hier liegt auch der Nucleus olivaris accessorius medialis. Der posteriore Nebenkern liegt dorsal vom Hauptkern. Die wesentlichen Afferenzen des Olivenkomplexes stammen aus dem

- Nucleus ruber (Pars parvocellularis, s. S. 101) des Mittelhirns über den **Tractus tegmentalis centralis** (zentrale Haubenbahn) und
- Rückenmark über den **Tractus spinoolivaris**.

Weitere Afferenzen kommen aus der Hirnrinde (**Tractus corticoolivaris**, verläuft mit dem Tractus corticospinalis) sowie auch aus dem Colliculus superior, aus der Formatio reticularis, aus dem zentralen Höhlengrau und aus dem Kleinhirn.

Die (exzitatorischen) Efferenzen des Olivenkomplexes bilden den **Tractus olivocerebellaris**. Sie kreuzen zur Gegenseite, ziehen durch den Pedunculus cerebellaris inferior und enden nach Abgabe von Kollateralen zu den Kleinhirnkernen als **Kletterfasern** in der Kleinhirnrinde (s. S. 122). Damit sind die Oliven an der Koordination und der Feinabstimmung (Präzision) von Bewegungen beteiligt. Eine weitere Efferenz des Olivenkomplexes sind die extrapyramidal-motorischen Fibrae olivospinales (= Tractus olivospinalis, s. S. 205).

MERKE

Der untere Olivenkomplex erhält Informationen aus verschiedenen Zentren, die im Rahmen der Motorik von Bedeutung sind. Durch die Verbindung zum Cerebellum (über den unteren Kleinhirnstiel) kann er die Koordination und Feinabstimmung von Bewegungen beeinflussen.



Check-up

- ✓ **Rekapitulieren Sie, welche Strukturen die Oberfläche der Medulla oblongata prägen.**
- ✓ **Wiederholen Sie zum unteren Olivenkomplex**
 - die Herkunft seiner verschiedenen Afferenzen
 - das Ziel seiner Efferenzen
 - welche dieser Faserbündel Sie benennen können.

5.3 Der Pons



Lerncoach

Auffällige Strukturen im Pons sind vor allem die Brückenkerne mit ihren Afferenzen und Efferenzen, das innere Fazialisknie und das Corpus trapezoideum. Beachten Sie beim Lernen der Brückenkerne die Verbindungen zum Cerebellum über den mittleren Kleinhirnstiel.

5

5.3.1 Die Lage und Oberfläche des Pons

Der Pons (die Brücke) liegt zwischen Medulla oblongata und Mesencephalon und ist ca. 2,5 cm lang. Auf der *vorderen* Seite wölben sich quer verlaufende Faserbündel vor, die seitlich zum mittleren Kleinhirnstiel konvergieren (s. **Abb. 5.2**, S. 94). Außerdem wird rechts und links ein Längswulst (= Vorwölbung durch die Pyramidenbahn) sichtbar. Zwischen diesen beiden Wülsten liegt eine längs verlaufende Furche, der **Sulcus basilaris** (für die A. basilaris). *Seitlich* tritt der N. trigeminus aus (lateral der Längswülste, an der Grenze von Brücke und mittlerem Kleinhirnstiel). Die **Dorsalfläche** des Pons wird erst nach Abtragung des Kleinhirns sichtbar (s. **Abb. 5.3**, S. 95). Sie bildet die obere Hälfte der Rautengrube (S. 176).

5.3.2 Die Gliederung und der innere Aufbau des Pons

Von den längs orientierten Schichten (s. S. 93) sind im Pons prominent ausgebildet:

- **Pars basilaris pontis** (Brückenfuß, anterior) und
- **Tegmentum pontis** (Brückenhaube).

Im Querschnittsbild durch die Brücke kann man die zahlreichen hier liegenden Strukturen erkennen (**Abb. 5.5**).

Ferner liegt dorsal das Velum medullare superius (= Teil des Dachs des IV. Ventrikels, s. S. 176).

5.3.2.1 Die Pars basilaris pontis

In der Pars basilaris der Brücke liegen

- weiße Substanz in Form der Fibrae pontis longitudinales und Fibrae pontis transversae sowie
- graue Substanz in Form der zahlreichen Nuclei pontis (eingelagert zwischen den Fasern).

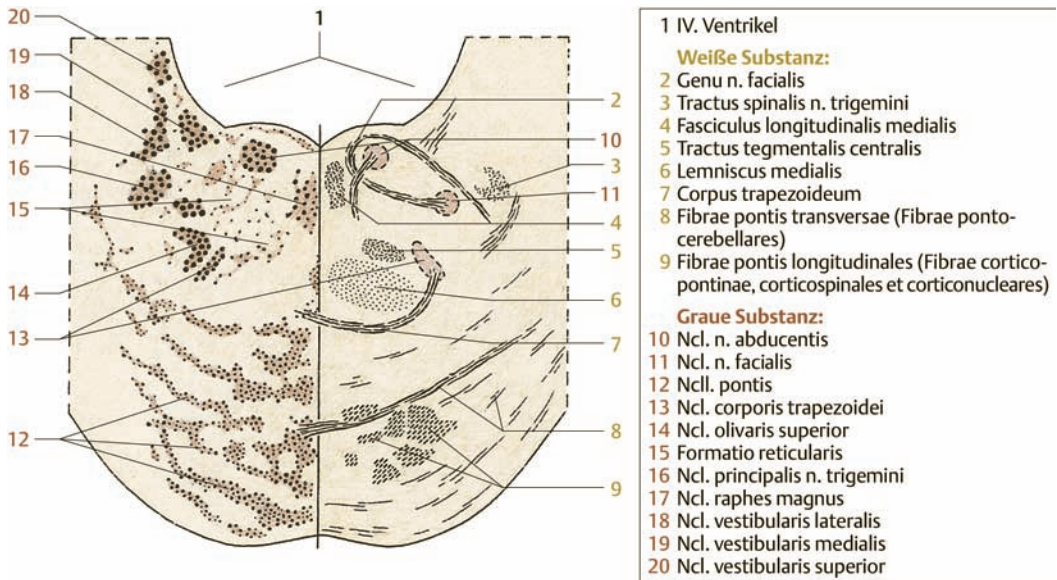


Abb. 5.5 Querschnitt durch den Pons mit Darstellung der Kerne (links) und Fasersysteme (rechts)

Die **Fibrae pontis longitudinales** sind die Fortsetzung der Faserbahnen, die in den Crura cerebri (s. S. 99) verlaufen, also die Pyramidenbahn und die kortikopontinen Fasern. Die Pyramidenbahn zerfällt beim Eintritt in den Pons in zahlreiche Faszikel, die zwischen den Brückenkernen verlaufen und sich am Unterrand der Brücke wieder zusammenlagern. Die kortikopontinen Fasern enden an den Neuronen der Brückenkernen (**Nuclei pontis**). Deren Axone verlaufen als **Fibrae pontis transversae** quer zur Gegenseite und bilden dort den mittleren Kleinhirnstiel (Pedunculus cerebellaris medius), über den sie die Kleinhirnrinde erreichen.

MERKE

Die Nuclei pontis sind eine wichtige Umschaltstation für Bahnen aus dem zerebralen Kortex (Fibrae fronto-, parieto- und temporopontinae). Die Axone der Ponskerne kreuzen im Bereich der Brücke zur kontralateralen Seite (Fibrae pontis transversae) und gelangen im Pedunculus cerebellaris medius in das Kleinhirn. Da diese kortiko-pontino-zerebelläre Bahn wichtig für die Feinabstimmung geplanter Bewegungsabläufe ist, ist sie beim Menschen besonders mächtig ausgebildet.

5.3.2.2 Das Tegmentum pontis

In der Brückenhaube liegen:

- die Kerne (zum Teil nur Kernanteile) der Hirnnerven V, VI, VII, VIII
- der Nucleus (oder Locus) caeruleus und weitere Anteile der Formatio reticularis
- das Corpus trapezoideum (mit Nuclei corporis trapezoidei)
- die Bahnen, die auch im Tegmentum mesencephali anzutreffen sind (s. S. 100).

Der **Nucleus caeruleus** besteht aus noradrenergen Neuronen, die Neuromelanin (Pigment) enthalten. Dadurch erscheint er blau-schwarz. Dreidimensional ist der zur Formatio reticularis (s. S. 102) gehörige Kern langgestreckt und dünn, im Querschnitt punktförmig und liegt gleich unter dem Boden der Rautengrube. Er projiziert u.a. zu nahezu allen zerebralen Kortexarealen und wirkt so an der Steigerung des Aufmerksamkeitsniveaus mit (s. ARAS, S. 104).

Klinischer Bezug

Klinische Bedeutung des Nucleus caeruleus: Der Nucleus caeruleus spielt im Rahmen psychiatrischer Erkrankungen eine wichtige Rolle.

Bei der Pathogenese der Depression kann ein Mangel an Noradrenalin von Bedeutung sein (Noradrenalinhypothese, zu der die Wirksamkeit noradrenerger Substanzen als Antidepressiva passt).

Bei Morbus Alzheimer (s. auch S. 160) finden sich u. a. neurodegenerative Veränderungen im Nucleus caeruleus.

Das **Corpus trapezoideum** gehört zur Hörbahn (s. S. 214). Hier kreuzen Fasern des Nucleus cochlearis anterior zur Gegenseite.

Eine Besonderheit im Pons ist der Verlauf der Fasern des N. facialis. Sie ziehen (vom Nucleus nervi facialis) um den Kern des N. abducens herum und bilden hier das **innere Fazialisknie** (Genu nervi facialis). Dadurch entsteht am Boden der Rautengrube der **Colliculus facialis** (s. Abb. 5.3, S. 95).

**Check-up**

- ✓ **Machen Sie sich noch einmal klar, in welchem Anteil der Brücke die Nuclei pontis liegen und welche Bedeutung sie haben.**
- ✓ **Rekapitulieren Sie, welcher Transmitter in den Neuronen des Nucleus caeruleus vorkommt.**

5.4 Das Mesencephalon**Lerncoach**

Im Mesencephalon (Mittelhirn) liegen mit dem Nucleus ruber und der Substantia nigra Kerngebiete, die auf den ersten Blick durch ihre Farbe erkennbar sind. Achten Sie darüber hinaus auf das dorsal gelegene Tectum, das mit der Vierhügelplatte viel stärker entwickelt ist als die dorsalen Schichten von Medulla oblongata und Pons.

5.4.1 Die Lage und Oberfläche des Mesencephalon

Das Mittelhirn ist der kürzeste Teil des Hirnstamms (ca. 1,5 cm lang) und grenzt nach kranial an das Zwischenhirn (Diencephalon, s. S. 129).

Vorne erkennt man zwischen den beiden Crura cerebri die **Fossa interpeduncularis**, die am Boden kleine Löcher als Eintrittsstellen für kleine Arterien aufweist (**Substantia perforata posterior**). In der Fossa interpeduncularis tritt der N. oculomotorius aus (s. Abb. 5.2, S. 94).

Seitlich ist die Oberfläche des Mesencephalon (im Bereich des Tegmentums) leicht vorgewölbt: **Trigonum lemnisci lateralis**. Hier verlaufen unmittelbar unter der Oberfläche der Lemniscus lateralis (s. S. 106) und der Lemniscus medialis (s. S. 107).

Auf der **Dorsalseite** des Mittelhirns (s. Abb. 5.3, S. 95) findet sich die Vierhügelplatte (Lamina quadrigemina oder Lamina tecti). Die zwei oberen Hügel (**Colliculi superiores**) sind höher und breiter als die zwei unteren (**Colliculi inferiores**). Von beiden Hügelpaaren ziehen nach lateral-oben makroskopisch erkennbare Faserwülste („Arme“), die nahezu parallel verlaufen: Das **Brachium colliculi superioris** zieht vom Colliculus superior zum Corpus geniculatum laterale des Diencephalon (als Teil der Sehbahn). Das **Brachium colliculi inferioris** verläuft zum Corpus geniculatum mediale (als Teil der Hörbahn).

Am unteren Rand des Colliculus inferior tritt der N. trochlearis aus. Er ist der einzige dorsal austretende Hirnnerv und verläuft um die Seitenfläche des Mittelhirns herum nach vorne.

5.4.2 Die Gliederung und der innere Aufbau des Mesencephalon

Die drei Schichten (s. auch S. 93) sind auf Querschnittsbildern gut zu erkennen.

- **Crura cerebri** (zwei Hirnschenkel, anterior)
- **Tegmentum mesencephali** (Haube)
- **Tectum** (Vierhügelplatte, posterior).

Das Tegmentum mesencephali und die Crura cerebri werden zusammen als **Pedunculi cerebri** (Hirnstiele) bezeichnet.

5.4.2.1 Die Crura cerebri

In den Hirnschenkeln verlaufen absteigende Bahnen von verschiedenen Arealen der Endhirnrinde zu Brückenkernen, zu Hirnnervenkernen und zum Rückenmark (Abb. 5.6). Diese Bahnen verlaufen in folgender Anordnung von medial nach lateral durch die Crura cerebri:

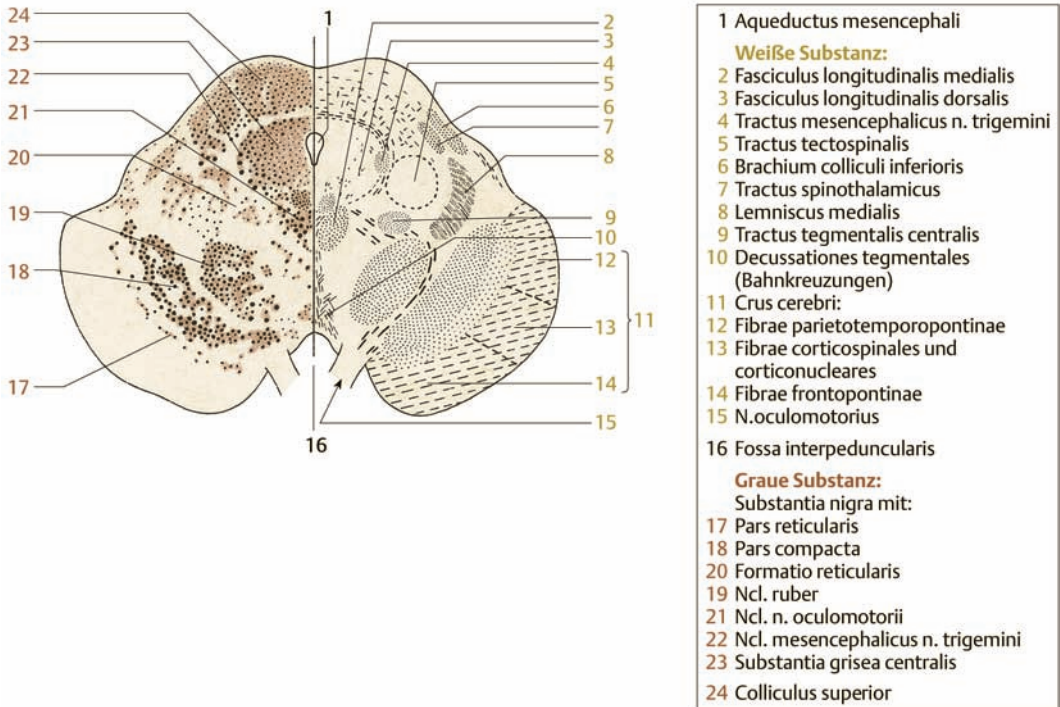


Abb. 5.6 Querschnitt durch das Mittelhirn auf Höhe der Colliculi superiores mit Darstellung der Kerne (links) und Fasersysteme (rechts)

- **Fibrae frontopontinae** (ganz medial, vom frontalen Kortex zu den Pons-Kernen)
- **Fibrae corticonucleares** (Bestandteil der Pyramidenbahn, vom motorischen Kortex zu Hirnnervenkernen)
- **Fibrae corticospinales** (Bestandteil der Pyramidenbahn, vom motorischen Kortex zu Motoneuronen im Rückenmark)
- **Fibrae parietopontinae und temporo-pontinae** (ganz lateral, von der parietalen und temporalen Endhirnrinde zu den Pons-Kernen).

5.4.2.2 Das Tegmentum mesencephali

Im Tegmentum liegen Kerngebiete und Bahnen.

Die **Substantia nigra** (schwarzer Kern) liegt unmittelbar den Crura cerebri an (an der Grenze zwischen dem Tegmentum und den Crura).

Die makroskopisch sichtbare schwarze Farbe beruht auf dem hohen Gehalt an Melanin in den Perikarya der Neurone.

Mikroskopisch unterteilt man dieses große motorische Kerngebiet in zwei Anteile, die sich hinsichtlich ihrer Neurotransmitter, ihrer Verschaltungen und ihrer Funktionen unterscheiden:

- **Pars compacta** mit dicht gepackten melaninhaltigen, dopaminergen Nervenzellen und
- **Pars reticularis** ohne melaninhaltige Zellen, zwischen Pars compacta und Crura cerebri gelegen. Die Afferenzen und Efferenzen der Substantia nigra werden beim extrapyramidal-motorischen System abgehandelt (s. S. 200).

Klinischer Bezug

Veränderungen der Substantia nigra beim Morbus Parkinson: Beim Morbus Parkinson kommt es zu degenerativen Veränderungen in den melaninhaltigen Neuronen der Substantia nigra. In diesen Neuronen treten als Zeichen einer Zellschädigung Lewy-Körperchen auf; hierbei handelt es sich um intrazytoplasmatische, eosinophile Einschlusskörperchen. Schließlich

gehen die melaninhaltigen Neurone und damit die dopaminerge nigrostriatale Bahn zugrunde. Schon makroskopisch erkennt man dann eine Abblassung der Substantia nigra (auf Querschnitten des Mesencephalon). Die charakteristischen Symptome und deren Entstehung sind im Rahmen der Basalganglienschleifen beschrieben (s. S. 203).

Medial der Substantia nigra liegt die **Area tegmentalis ventralis**, eine kleine Ansammlung dopaminerg-er Neurone, die mit dem Ncl. accumbens des Endhirns in Verbindung stehen (s. S. 158).

Zwischen rechter und linker Substantia nigra (und damit fast zwischen den Crura cerebri) findet sich der **Ncl. interpeduncularis**, der dem limbischen System zugerechnet wird (s. S. 227).

Dorsal davon verläuft die Kreuzung der oberen Kleinhirnstiele (**Decussatio pedunculorum cerebellarium superiorum**).

Der **Nucleus ruber** (roter Kern) liegt als großer rundlicher Kern inmitten des Tegmentum.

Seine rötliche Farbe, die nur an frischen Schnitten zu sehen ist, beruht auf dem hohen Eisengehalt seiner Perikarya. Der Nucleus ruber gehört zum motorischen System und lässt sich mikroskopisch untergliedern in

- **Pars parvocellularis** (kleine Neurone) und
- **Pars magnocellularis** (große Neurone), die beim Menschen nur wenig ausgebildet ist.

Seine Faserverbindungen sind: Tractus cerebellorubralis (s. S. 124), Tractus corticorubralis, Tractus tegmentalis centralis (zum Nucleus olivaris inferior, s. S. 105), Tractus rubrospinalis (s. S. 205) und Tractus rubroreticularis.

Die Afferenzen des Nucleus ruber (vorwiegend zur Pars parvocellularis) stammen also hauptsächlich aus dem Cerebellum und aus der Endhirnrinde.

Der kleinzellige Anteil des Nucleus ruber projiziert über den **Tractus tegmentalis centralis** (zentrale Haubenbahn) zur unteren Olive. Damit gehört diese Projektion zur kortiko-rubro-olivo-zerebellären Neuronenkette. Der Regelkreis wird durch die zerebello-rubrale Projektion geschlossen. Der Nucleus ruber ist wesentlich an der glatten und präzisen Ausführung von Willkürbewegungen (Koordination des Zusammenspiels von Synergisten und

Antagonisten) beteiligt. Ferner ist er für die Körperhaltung und den Muskeltonus von Bedeutung.

Der **Tractus rubrospinalis**, der seinen Ursprung in der Pars magnocellularis nimmt, wird zusammen mit dem Tractus corticorubralis auch als ein paralleler Weg zum Tractus corticospinalis aufgefasst. Der Tractus rubrospinalis ist wie die zugehörige Pars magnocellularis beim Menschen nur sehr schwach (wenn überhaupt) ausgebildet.

Die **Formatio reticularis** erstreckt sich durch den gesamten Hirnstamm (s. S. 102).

Der **Nucleus nervi oculomotorii** und der **Nucleus nervi trochlearis** liegen ventral des Aquädukts (und des zentralen Höhlengraus).

Der **Aqueductus mesencephali** (oder Aqueductus cerebri) verläuft als Kanal zwischen Tectum und Tegmentum durch das Mesencephalon. Er verbindet den dritten mit dem vierten Ventrikel.

Die **Substantia grisea centralis** (zentrales Höhlengrau, auch periaquäduktales Grau) liegt unmittelbar um den Aqueductus mesencephali (s. S. 174) herum an der Grenze zum und mit ihrem dorsalen Teil im Tectum. Sie wird häufig auch als Teil der Formatio reticularis aufgefasst. Das zentrale Höhlengrau hat reziproke Verbindungen mit kortikalen und subkortikalen Arealen des limbischen Systems. Es beeinflusst absteigende Fasern (z. B. aus Raphekernen, s. S. 103) zum Rückenmark, die über Aktivierung von inhibierenden Interneuronen eine Hemmung von Schmerzimpulsen bedingen können.

Klinischer Bezug

Opioid-Analgetika: Die analgetische Wirkung von Opioiden zur Behandlung starker Schmerzen beruht u. a. auf der Aktivierung von Opioidrezeptoren in der Substantia grisea centralis.

5.4.2.3 Das Tectum mesencephali

Das **Tectum** (Lamina tecti, Lamina quadrigemina = Vierhügelplatte) besteht aus den Colliculi superiores et inferiores.

Die **Colliculi superiores** bestehen aus sieben Zellschichten. Zu den einzelnen Schichten ziehen bestimmte Afferenzen und die einzelnen Schichten sind der Ursprung definierter Efferenzen.

Afferenzen erhält der Colliculus superior aus dem Sehnerv, aus der Sehrinde, vom frontalen Augenfeld (s. S. 200), vom Rückenmark (Tractus spinotectalis, propriozeptive Signale) und vom Colliculus inferior.

Die Efferenzen des Colliculus superior sind der Tractus tectobulbaris (s. S. 106, zu motorischen Kernen des Hirnstamms) und der Tractus tectospinalis (zu Motoneuronen im Rückenmark). Aufsteigende Efferenzen ziehen zum Pulvinar und zum Corpus geniculatum laterale.

Funktionell handelt es sich beim Colliculus superior um ein **optisches Reflexzentrum**. Es ist daran beteiligt, dass bewegte Objekte entdeckt und verfolgt werden können. Ferner können bei plötzlich auftretenden visuellen Reizen (z. B. ein Lichtblitz) die Augen geschlossen (Lidschlussreflex) und der Kopf abgewandt werden. Durch die Afferenzen aus dem Colliculus inferior können Augen und Kopf in Richtung eines Geräusches gerichtet werden. Insgesamt können also durch den Colliculus superior auf einen optischen, akustischen und wahrscheinlich auch taktilen Reiz hin reflektorische Augen-, Kopf- und Rumpfbewegungen ausgelöst werden.

Die **Colliculi inferiores** bestehen aus einem großen Nucleus centralis und zwei kleineren Kernen (Nuclei pericentralis und externus). Der Nucleus centralis ist eine **Umschaltstation in der Hörbahn**, hier endet der Lemniscus lateralis. Der Kern zeigt eine tonotope Ordnung. Seine Efferenzen ziehen im Brachium colliculi inferioris zum Corpus geniculatum mediale, von wo aus die auditorischen Impulse zur Hörrinde weitergeleitet werden.

Die kleinen Kerne, die Afferenzen aus der Hörrinde und aus dem kontralateralen Colliculus inferior erhalten, gehören zum System der absteigenden Fasern innerhalb der Hörbahn; sie sind an einer Innervation des Corti-Organs (s. S. 240) beteiligt.

MERKE

Die Colliculi superiores sind für das *visuelle*, die Colliculi inferiores für das *auditorische* System von Bedeutung.



Check-up



Wiederholen Sie, aus welchen drei längs orientierten Schichten das Mittelhirn besteht.



Rekapitulieren Sie für jede dieser drei Schichten die jeweils charakteristischen Strukturen.

5.5 Die Formatio reticularis



Lerncoach

Bereits am Namen wird ersichtlich, dass es sich bei dieser Struktur um ein netzartiges System von Neuronen handelt. Man unterscheidet hier nicht nur einzelne Kerngebiete nach ihrer Lage, sondern auch nach Transmittern und Funktionen. Lassen Sie sich nicht durch diese verschiedenen Einteilungen verwirren, sondern führen Sie sich beim Lesen des folgenden Abschnitts insbesondere vor Augen, für welche lebenswichtigen Funktionen die Formatio reticularis als Koordinationszentrum dient.

5.5.1 Die Lage und Gliederung der Formatio reticularis

Die Formatio reticularis, ein phylogenetisch altes System, erstreckt sich durch den gesamten Hirnstamm (im Tegmentum) und reicht darüber hinaus nach oben bis ins Zwischenhirn und nach unten bis ins Rückenmark. Sie besteht aus Kernen unterschiedlicher Form und Größe. Auch die Packungsdichte und Größe der Nervenzellen in den Kernen variiert. Zytoarchitektonisch sind die Kerne häufig schwer abgrenzbar. Die Kerne der Formatio reticularis lassen sich unter drei Aspekten einteilen:

— Einteilung in drei Längszonen:

- mediane Zone: die Raphekerne
- mediale Zone: Kerne mit großen Nervenzellen (magnozellulär), Ursprungsgebiet für lange auf- und absteigende Bahnen
- laterale Zone: Kerne mit kleinen Nervenzellen (parvozellulär).

- **Einteilung nach Transmitter:** Immunhistochemisch lassen sich in allen drei Längssäulen Kerne anhand ihres charakteristischen Transmitters identifizieren. Es werden folgende Systeme unterschieden:
 - serotoninerge
 - noradrenerge
 - adrenerge
 - cholinerge.
- **Einteilung nach Funktion:** Es werden in der Formatio reticularis funktionelle Zentren definiert, dazu gehören u. a.:
 - Atemzentrum
 - Kreislaufzentrum
 - Brechzentrum
 - Schluckzentrum und andere im Rahmen der Nahrungsaufnahme wichtige Zentren
 - Weckzentrum
 - Augenbewegungszentrum
 - motorisches Zentrum
 - Zentren für die Schmerzkontrolle, zu denen die Substantia grisea centralis gehört (s. S. 101).

5.5.2 Die Raphekerne

Die Raphekerne bilden die *mediane Zone*; sie liegen als schmale Platte beidseits der Mittellinie. Aufgrund ihrer Lage im oberen oder unteren Teil der Formatio lassen sich verschiedene Kerne abgrenzen (z.B. Nuclei raphes pallidus, raphes obscurus, raphes pontis, raphes magnus). Die meisten Neurone der Raphekerne sind **serotoninerge**.

Die Afferenzen und Efferenzen der Raphekerne sind auffällig zahlreich. Die serotoninergen Efferenzen erreichen nahezu das gesamte ZNS. Eine Vielzahl ihrer Afferenzen erhalten die Raphekerne aus Teilen des limbischen Systems, zu denen sie auch Efferenzen schicken.

Wichtigste Projektionsziele der Raphekerne sind u. a.

- der Neokortex (Aktivierung des zerebralen Kortex, s. ARAS) und
- das Rückenmark.

Klinischer Bezug

SSRIs (selective serotonin reuptake inhibitors): Diese pharmakologische Gruppe von Antidepressiva hemmt die Wiederaufnahme von freigesetztem Serotonin in die Neurone. Dadurch erhöht sich die Serotonin-Konzentration im synaptischen Spalt der durch die Raphekerne innervierten Strukturen. Die antidepressive Wirkung ist vermutlich auf eine Erhöhung des Serotoninspiegels im Kortex zurückzuführen.

5.5.3 Die funktionellen Zentren

5.5.3.1 Das Atemzentrum

Die rhythmischen Kontraktionen der Atemmuskulatur werden durch respiratorische Neurone der Formatio reticularis in der Medulla oblongata ausgelöst. Die *inspiratorisch* und *expiratorisch* wirkenden Neurone sind abwechselnd aktiv (Rhythmusgenerator). Die Aktivität dieses medullären Atemrhythmusgenerators wird durch ein pontines pneumotaktisches Zentrum moduliert. Auf das Atemzentrum wirken ferner Signale aus peripheren und zentralen Chemorezeptoren (z.B. Glomus caroticum, Rezeptoren an der Medulla oblongata) und aus Mechanorezeptoren („Lungendehnungssensoren“ mit Informationsleitung über den N. vagus).



An dieser Stelle können Sie sich Querverbindungen zur Physiologie erarbeiten, z. B.:

- **Hering-Breuer-Reflex:** über Informationen aus den Dehnungssensoren wird die Tiefe der Einatmung begrenzt
- **Atemantrieb:** CO₂-, H⁺- und O₂-Wirkung
- **periphere Chemosensoren:** Glomera carotica (→ Weiterleitung über den N. glossopharyngeus), Glomera aortica (→ Weiterleitung über den N. vagus)
- **zentrale Chemosensoren:** an der Medulla oblongata.

5.5.3.2 Die Kreislaufzentren

Hierbei handelt es sich um autonome Zentren für Blutdruck, Herztätigkeit und Gefäßweite in der Medulla oblongata.

Neurone im Pressorzentrum schicken sympathische Impulse an Herz und Gefäße. Folgen sind ein Anstieg der Herzfrequenz und des kardialen Auswurf-

volumens sowie Vasokonstriktion. Neurone im Depressorzentrum führen über den N. vagus zur Verminderung des Herzzeitvolumens und der Herzfrequenz sowie über eine Hemmung der sympathischen Gefäßinnervation zur Gefäßerweiterung (→ Blutdrucksenkung).

Afferenzen erhält das Kreislaufzentrum über den N. vagus und N. glossopharyngeus (aus Barosensoren z.B. der Aorta und der A. carotis), aus dem Hypothalamus (vegetatives Zentrum) und aus der Endhirnrinde (psychische Erregungen, körperliche Aktivität).

5.5.3.3 Das Brechzentrum

Als Brechzentrum gilt die **Area postrema** am unteren Ende der Rautengrube (unmittelbar unter der Oberfläche). Die Area postrema ist reich vaskularisiert; eine Blut-Hirn-Schranke ist hier nicht ausgebildet (zirkumventrikuläres Organ, s.S.178). Das Brechzentrum löst den Ablauf des erforderlichen motorischen Programms aus. Es kann gereizt werden durch Signale aus Mundhöhle, Rachen, Magenschleimhaut, Geschmacks-, Geruchs- und Vestibularsystem, durch Druckschwankungen im vierten Ventrikel und durch im Blut zirkulierende Substanzen.

MERKE

Eine besondere Rolle bei der Auslösung von Erbrechen spielen Chemorezeptoren von Neuronen in der Area postrema.

Klinischer Bezug

Medikamentöse Hemmung des Brechreizes: Die durch chemische oder andere o.g. Reize hervorgerufene neuronale Erregung kann durch die Blockade verschiedener Neurotransmitterrezeptoren, die in der Area postrema an der Auslösung von Erbrechen beteiligt sind, herabgesetzt werden. Auf diesem Mechanismus beruht der Effekt zentral wirksamer Antiemetika wie z.B. Metoclopramid (Handelsname: Paspertin; Antagonist zentraler D₂- = Dopaminrezeptoren) und Ondansetron (Antagonist von 5-HT₃-Rezeptoren, an denen Serotonin = 5-Hydroxytryptamin angreift). Letzteres hilft sogar bei Zytostatika mit stark emetischen Nebenwirkungen.

5.5.3.4 Das Schluckzentrum und der Würgereflex

Für den Schluckakt müssen Muskeln (Mundboden, Zunge, Pharynx, Larynx, Ösophagus) in bestimmter Reihenfolge kontrahiert werden. Die Koordination verschiedener Nerven erfolgt durch das Schluckzentrum im Bereich der Medulla oblongata. Hier findet sich auch ein Areal für den Würgereflex.

5.5.3.5 Das Speichelsekretionszentrum

Durch Schmecken oder Riechen (oder auch psychogen vom Endhirn) kann Speichelfluss reflektorisch ausgelöst werden. Die zugehörigen Efferenzen der (pontinen) Formatio reticularis erreichen den Nucleus salivatorius superior und inferior (s. S. 110).

5.5.3.6 Das Kauen, Lecken und Saugen

Im Mittelhirnbereich findet sich in der Formatio reticularis ein übergeordnetes Zentrum, das Prozesse wie Kauen, Lecken und Saugen koordiniert.

5.5.3.7 Das pontine Miktionszentrum

Dieses Miktionszentrum empfängt Signale aus Dehnungsrezeptoren der Blase; es aktiviert dann den sakralen Parasympathikus, der an der Harnblase die Kontraktion des M. detrusor vesicae hervorruft.

MERKE

Im Pons liegt ein übergeordnetes Miktionszentrum.

5.5.3.8 Das aufsteigende retikuläre aktivierende System (ARAS)

Die Stimulation von bestimmten Anteilen der Formatio reticularis führt zu einer allgemeinen Aktivierung der Hirnrinde (Weckreaktion), die eine Vorbedingung für Aufmerksamkeit und effektive Wahrnehmung ist. Dementsprechend ist die Aktivität des ARAS im Schlaf stark reduziert.

Die Efferenzen des ARAS können den zerebralen Kortex direkt aktivieren oder werden vorher in unspezifischen Thalamuskernen (s. S. 130) umgeschaltet, die dann zum Kortex projizieren. Die Kerngebiete der Formatio reticularis, die zum ARAS gehören, werden neurochemisch anhand ihres spezifischen Transmitters charakterisiert: z.B. noradrenerg – Nucleus caeruleus, serotoninerg – Raphe-

kerne, cholinerg – Nucleus tegmentalis pedunculopontinus (im Mittelhirn).

Die Kerne des ARAS erhalten verschiedene sensible Afferenzen aus dem Hinterhorn des Rückenmarks und aus Hirnnervenkernen, ferner Impulse aus dem zerebralen Kortex.

Sie sind am Wach-Schlaf-Rhythmus beteiligt und für die Aufrechterhaltung eines Wachheitszustands von Bedeutung.

5.5.3.9 Das motorische Zentrum (absteigendes retikuläres System)

Aus der Formatio reticularis entspringen zwei Bahnen mit getrenntem Ursprung: Der Tractus pontoreticulospinalis (**Tractus reticulospinalis medialis**) entspringt aus der Formatio reticularis des Pons, der Tractus bulboreticulospinalis (**Tractus reticulospinalis lateralis**) aus der Formatio reticularis der Medulla oblongata. Die beiden Tractus wirken sowohl erregend als auch hemmend auf α - und γ -Motoneurone von Rumpf- und Halsmuskulatur. Sie gehören zu den extrapyramidalen Bahnen (s. S. 204).



Check-up

- ✓ Wiederholen Sie die vielfältigen Funktionen, an denen die Formatio reticularis beteiligt ist.
- ✓ Rekapitulieren Sie insbesondere, welcher Transmitter in den Raphekernen vorkommt.

5.6 Die Bahnen im Hirnstamm



Lerncoach

Vor allem die langen, den Hirnstamm durchziehenden Bahnen lassen sich besser im Zusammenhang mit ihrer jeweiligen funktionellen Bedeutung verstehen (s. Kapitel 11, S. 199). Verschaffen Sie sich dazu hier lediglich einen groben Überblick und konzentrieren Sie sich vor allem auf die innerhalb des Hirnstamms verlaufenden Bahnen.

Im Hirnstamm lassen sich zwei Arten von Faserbahnen nachweisen:

- Faserbahnen, die Verbindungen innerhalb des Hirnstamms herstellen, und
- lange Bahnen, die entweder Strukturen des Hirnstamms mit anderen Anteilen des ZNS verbinden oder durch den Hirnstamm hindurchziehen: auf- und absteigende Bahnen.

5.6.1 Die Faserbahnen innerhalb des Hirnstamms

5.6.1.1 Der Fasciculus longitudinalis medialis (mediales Längsfaserbündel)

Diese Bahn dient der Koordination von Augen- und Halsmuskulatur unter Einbeziehung von Afferenzen aus den Vestibulariskernen. Es handelt sich dabei um eine Ansammlung verschiedener auf- und absteigender Faserbündel, die auf unterschiedlichen Höhen in den Fasciculus einstrahlen oder aus ihm austreten. Die wesentlichen **Verbindungen des Fasciculus longitudinalis medialis** sind:

- Verbindungen zwischen den Augenmuskelkernen und dem zervikalen Rückenmark: Damit wird z.B. die reflektorische Stabilisierung der Blickrichtung bei einer Kopfdrehung ermöglicht.
- Verbindungen zwischen den Vestibularis- und Augenmuskelkernen sowie dem zervikalen Rückenmark: Damit wird ein Zusammenspiel des Gleichgewichtsapparates mit den Nerven für Augen- und Kopfbewegungen vermittelt.
- Verbindungen zwischen anderen motorischen Hirnnervenkernen untereinander und mit der Formatio reticularis: Damit werden reflektorische Abläufe wie Schlucken oder Würgen möglich (s. auch Formatio reticularis S. 102).

5.6.1.2 Der Tractus tegmentalis centralis (zentrale Haubenbahn)

Diese Bahn besteht vorwiegend aus verschiedenen Faserbündeln. Hierzu gehört insbesondere der **Tractus rubroolivaris**, der die Pars parvocellularis des Nucleus ruber mit dem ipsilateralen Nucleus olivaris inferior verbindet. Hinzu kommen Fasern aus dem Thalamus und den Basalganglien, die ebenfalls den unteren Olivenkern erreichen. Damit gehören diese (absteigenden) Bahnen zum extrapyramidal-motorischen System.

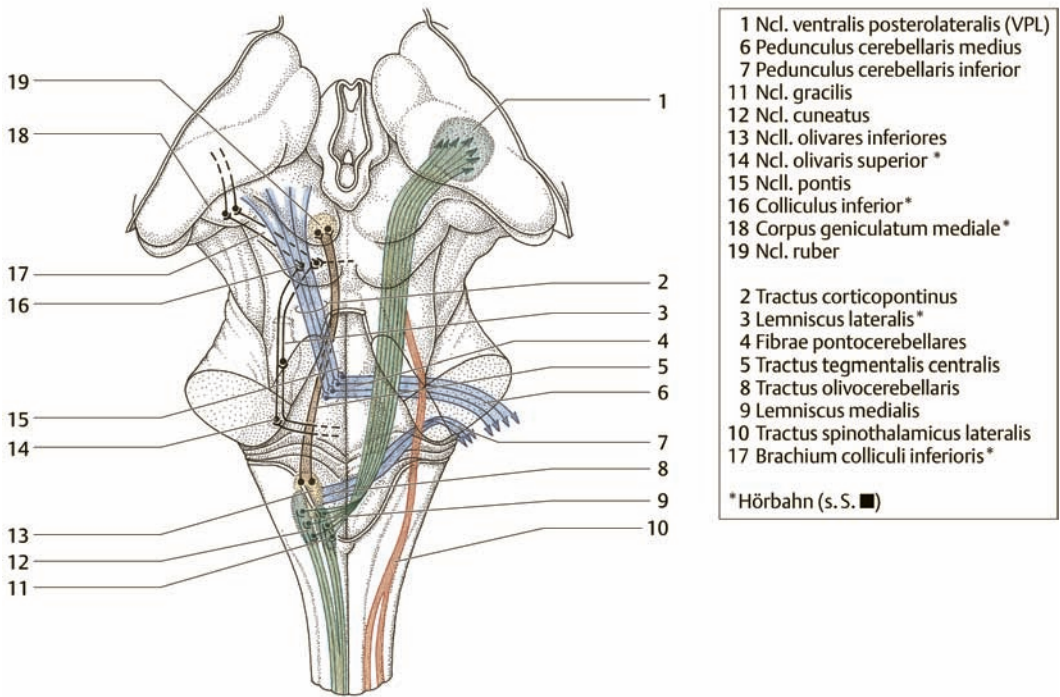


Abb. 5.7 Bahnen im Hirnstamm

Von den zahlreichen durch den Hirnstamm verlaufenden Bahnen, die z. T. im Rahmen der funktionell zugehörigen Strukturen oder Systeme beschrieben werden, ist in dieser Ansicht von dorsal nur eine Auswahl dargestellt.

Nach Umschaltung im unteren Olivenkern gelangen die Signale ins Kleinhirn.

Auch Fasern der Geschmacksbahn (aus dem Nucleus tractus solitarii) ziehen im Tractus tegmentalis centralis durch den Hirnstamm (aufsteigend) zum Thalamus.

5.6.1.3 Der Fasciculus longitudinalis dorsalis (dorsales Längsbündel; Schütz)

Der Fasciculus longitudinalis dorsalis (oder posterior) mit auf- und absteigenden Fasern verläuft zwischen Hypothalamus und Medulla oblongata (z. T. auch Halsmark). Er verbindet reziprok vegetative Zentren des Hypothalamus mit solchen im Hirnstamm (z. B. Formatio reticularis, Nuclei salivatorii, Nuclei tractus solitarii). Zudem treten olfaktorische Fasern ein, die absteigend verlaufen. So sind sie über die Projektion zu funktionellen Zentren der Formatio reticularis z. B. an der Speichelsekretion bei guten Gerüchen beteiligt oder vermit-

teln bei extrem unangenehmem Geruch den Würgerreflex. Zur Verbindung limbischer Strukturen s. S. 227).

Der Fasciculus verläuft in Ventrikelnähe (z. T. im zentralen Höhlengrau).

5.6.1.4 Tractus tectobulbaris

Diese Bahn gehört zum okulomotorischen System. Die Fasern stammen aus den Colliculi superiores und kreuzen im Mesencephalon zur Gegenseite (Decussatio tegmentalis posterior, dorsale Haubenkreuzung nach Meynert). Sie ziehen zu Augenmuskelnkernen (sowie zu den Nuclei pontis und zur Formatio reticularis).

5.6.1.5 Der Lemniscus lateralis

Der Lemniscus lateralis ist ein Teil der Hörbahn (s. S. 214). Er beginnt in den Nuclei cochleares, kreuzt zur Gegenseite und endet am Colliculus inferior.

5.6.2 Die langen absteigenden Bahnen

Diese Bahnen gehören zum motorischen System. Sie beginnen im Isokortex und verlaufen in der anterioren Zone des Hirnstamms abwärts (Crura cerebri des Mittelhirns → Pars basilaris pontis → Pyramis der Medulla oblongata).

Folgende Bahnsysteme werden unterschieden:

- Tractus corticopontinus (zu Brückenkernen, s. S. 98)
- Fibrae corticonucleares (Teil der Pyramidenbahn zu Hirnnervenkernen, s. S. 200)
- Fibrae corticospinales (Teil der Pyramidenbahn zum Rückenmark, s. S. 85 und 200).

5.6.3 Die langen aufsteigenden Bahnen

Die langen aufsteigenden Bahnen gehören zu sensorischen Systemen. Zu ihnen gehören:

- Lemniscus medialis (mediale Schleifenbahn)
- Lemniscus trigeminalis
- Tractus spinothalamicus.

5.6.3.1 Der Lemniscus medialis und der Lemniscus trigeminalis

Die Ursprungsneurone des **Lemniscus medialis** liegen in den Nuclei cuneatus und gracilis. Hier wird die bis dahin ungekreuzte Hinterstrangbahn (s. S. 206) auf das zweite Neuron umgeschaltet. Die glutamatergen Axone des Lemniscus medialis kreuzen in der Decussatio lemnisci medialis (auf Höhe der Olive) als Fibrae arcuatae internae zur Gegenseite. Anschließend steigen die Fasern zum Thalamus (VPL, s. S. 132) auf, wo die Umschaltung auf das dritte Neuron erfolgt. Diese Bahn dient der Mechanorezeption (Druck, Berührung, Vibration) aus dem Rumpf und den Extremitäten.

Im **Lemniscus trigeminalis** verlaufen die Axone aus dem Hauptkern und aus dem spinalen Kern des N. trigeminus, die hier in der Mehrzahl zur Gegenseite kreuzen und sich von medial an den Lemniscus medialis anlegen. Anschließend ziehen sie zum Thalamus (VPM), wo die Umschaltung auf das dritte Neuron erfolgt (s. S. 132).

MERKE

Der Lemniscus trigeminalis ist mit dem Lemniscus medialis vergleichbar. Er leitet die Mechanorezeption aus dem Kopfbereich.

5.6.3.2 Der Tractus spinothalamicus und der Tractus trigeminothalamicus

Der **Tractus spinothalamicus** besteht aus Axonen des zweiten Neurons, die bereits auf Rückenmarksebene zur Gegenseite gekreuzt sind (s. S. 83 f). Diese Bahn leitet besonders Schmerz- und Temperatursignale zum Thalamus, wo die Umschaltung auf das dritte Neuron stattfindet. Der Tractus spinothalamicus legt sich im Mesencephalon der medialen Schleife an. Die Zusammenlagerung von Tractus spinothalamicus mit weiteren Bahnen zur Verarbeitung von Schmerz, Temperatur und groben Tast- und Druckempfindungen (wie Tractus spinoreticularis und Tractus spinotectalis) bezeichnet man als **Lemniscus spinalis**.

Die Schmerz- und Temperaturleitung aus dem Kopfbereich erfolgt über den Nucleus spinalis nervi trigemini. Hier erfolgt die Umschaltung auf das zweite Neuron. Die Axone ziehen dann zur Gegenseite und steigen als **Tractus trigeminothalamicus** zusammen mit dem Tractus spinothalamicus zum Thalamus auf.

5.6.3.3 Weitere Bahnen im Hirnstamm

Im Hirnstamm sind weitere Bahnen anzutreffen, die meist nur durch einen Teil des Hirnstamms verlaufen, z. B.

- Tractus spinocerebellaris anterior und posterior (s. S. 209)
- Tractus tectospinalis*
- Tractus rubrospinalis*
- Tractus vestibulospinalis*
- Tractus reticulospinalis*
- Tractus olivospinalis*
- Afferenzen und Efferenzen der Substantia nigra
- Tractus spinoolivaris (s. S. 97)

(* = Bahnen des extrapyramidal-motorischen Systems, s. S. 204).



Check-up

- ✓ **Rekapitulieren Sie, über welches Fasersystem Augen- und Halsmuskulatur sowie ihr Zusammenspiel mit dem Vestibularapparat koordiniert werden.**
- ✓ **Wiederholen Sie, welche Strukturen der Tractus tegmentalis centralis verbindet.**

- ✓ **Machen Sie sich nochmals die funktionelle Bedeutung des Fasciculus longitudinalis dorsalis klar.**
- ✓ **Halten Sie sich noch einmal vor Augen, zu welchen beiden verschiedenen Systemen Lemniscus medialis und Lemniscus lateralis gehören: Welche Herkunft und welches Ziel haben jeweils die in ihnen verlaufenden Fasern?**

5.7 Die Hirnnervenkerne und Austrittsstellen der Hirnnerven



Lerncoach

Die Anordnung der Hirnnervenkerne des Hirnstamms in mehreren (längsorientierten) Reihen erscheint zunächst komplex und verwirrend. Machen Sie sich deshalb zunächst die prinzipielle Anordnung aufgrund ihrer embryologischen Herkunft (Grundplatte, Flügelplatte, Schlundbogen) klar.

Im Hirnstamm liegen die Kerne der Hirnnerven III–XII (von oben nach unten, **Abb. 5.8**). Die Kerngebiete der Hirnnerven können – bis auf den Nucleus mesencephalicus nervi trigemini, der eine Sonderstellung einnimmt – in folgende Gruppen eingeteilt werden:

- **Ursprungskerne (Ncll. originis):** Hier liegen die Zellkörper efferenter (motorischer) Fasern
- **Endkerne (Ncll. terminationis):** Hier enden afferente Fasern von Neuronen, deren Perikarya in sensiblen Ganglien liegen.

Wie im Rückenmark findet sich auch im Hirnstamm eine Gliederung in motorische Grundplatte (efferente Neurone) und sensible Flügelplatte (afferente Neurone).

Während der Entwicklung kommt es zu Umlagerungsprozessen, in deren Verlauf die ehemals dorsalen Anteile nach ventral und lateral verlagert werden. Man kann sich diese Anordnung so vorstellen, als wäre das embryonale Neuralrohr von dorsal bis zum Zentralkanal aufgeschnitten und anschließend wie ein Buch aufgeklappt worden (s. S. 26).

Die innere Spalte rechts und links ist die efferente Zone, die äußere Spalte rechts und links die affe-

rente Zone. Zwischen den Spalten liegt der Sulcus limitans. Am Sulcus limitans liegen wie im Rückenmark die vegetativen Kerne. Somit liegen von medial nach lateral vier Areale: somatoefferent, viszeroefferent; (Sulcus limitans); viszeroafferent, somatoafferent.

Zwischen den (allgemein) somatischen und viszerale Kernen (bzw. Kernsäulen) schiebt sich im Hirnstamm jeweils ein Areal für die branchialmotorischen Neurone, deren Fasern zu den aus Schlundbogenmaterial hervorgegangenen Muskeln ziehen, und für die spezielle Viszerosensorik (Geschmack).

Ganz lateral kommt noch das Kerngebiet der speziellen Somatosensorik (für die Sinnesorgane des Innenohrs) dazu. Damit ergibt sich im Hirnstamm auf beiden Seiten von medial nach lateral folgende Anordnung der insgesamt **sieben Kerngruppen**:

- **Allgemein somatoefferente** (= allgemein somatomotorische) Gruppe (am weitesten medial = paramedian): Die Fasern dieser Kerne innervieren quergestreifte Skelettmuskulatur, die aus Somiten und prächordalem Mesoderm abstammt.
- **Speziell viszeroefferente** (= speziell viszeromotorische = branchialmotorische) Gruppe: Die Fasern dieser Kerne innervieren quergestreifte Muskeln, die von den Schlundbögen abstammen.
- **Allgemein viszeroefferente** (= allgemein viszeromotorische) Gruppe: Die Fasern dieser Kerne (präganglionäre Neurone) stellen den kranialen Anteil des Parasympathikus dar. Sie gehören zu den Hirnnerven III, VII, IX und X und innervieren glatte Muskulatur der Eingeweide und Drüsen.

Die efferenten Gruppen werden durch den **Sulcus limitans** von den afferenten getrennt.

- **Allgemein viszeroafferente** (= allgemein viszerosensible) Gruppe: Diese Kerne vermitteln (meist unbewusst) Sensibilität aus den Eingeweiden und Blutgefäßen. Nach Eintritt in den Hirnstamm treten die Fasern als Tractus solitarius abwärts und enden an **unteren** Teilen der **Nuclei tractus solitarii** (kaudaler Solitariuskernkomplex).

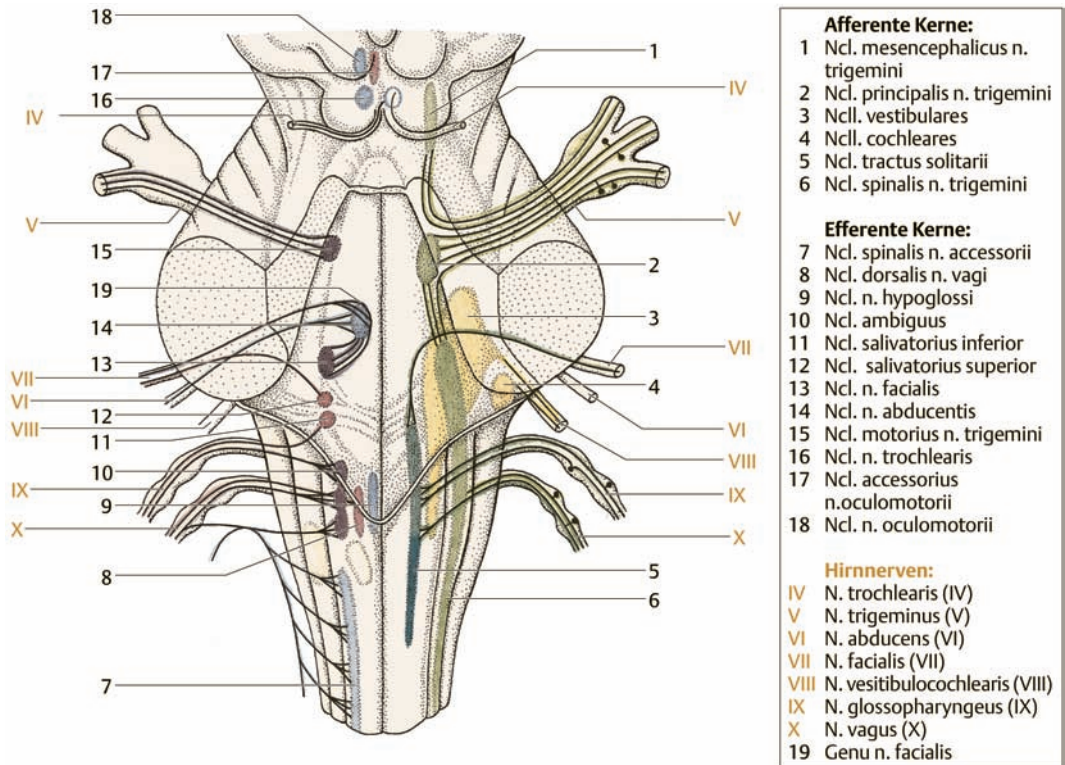


Abb. 5.8 Lage der Hirnnervenkerne im transparent dargestellten Hirnstamm (Ansicht von dorsal nach Entfernung des Kleinhirns)

- **Speziell viszeroafferente** (= speziell viszerosen-sorische) Gruppe: An Neuronen dieser Kerngruppe enden Geschmacksfasern, die in verschiedenen Hirnnerven den Hirnstamm erreichen. Die Fasern sammeln sich im Tractus solitarius und enden an **oberen** Teilen der **Nuclei tractus solitarii**. Diese Kernareale werden auch als Nucleus gustatorius bezeichnet. Er ist der spezielle viszerale Endkern und enthält das 2. Neuron der Geschmacksbahn.
- **Allgemein somatoafferente** (= allgemein somatosensible) Gruppe: Die an diesen Kernen endenden Fasern vermitteln Druck-, Berührungs-, Schmerz- und Temperatursignale sowie Informationen aus Muskeln, Sehnen und Gelenken der Kopfregion.
- **Speziell somatoafferente** (= speziell somatosensorische) Gruppe (am weitesten lateral): Hier

enden Fasern, die Signale aus dem Hör- und Gleichgewichtsorgan vermitteln.



Nutzen Sie die funktionelle Einteilung in sieben Kerngruppen, um sich die verschiedenen Faserqualitäten der Hirnnerven klarzumachen. Vergleichen Sie die Tabellen 5.1 und 5.2 mit der Tabelle 3.10 (s. S. 58), die zeigt, wie unterschiedlich die Anzahl verschiedener Faserqualitäten in jedem einzelnen Hirnnerv ist.

5.7.1 Die Ursprungskerne

Die Axone von Neuronen der Ursprungskerne bilden die efferenten Fasern verschiedener aus dem Hirnstamm austretenden Hirnnerven (Tab. 5.1).

Tabelle 5.1

Ursprungskerne				
Kern	Lage	Hirnnerv		Innervationsgebiet
Allgemein somatoefferente Gruppe				
Ncl. nervi oculomotorii	Mesencephalon	III	N. oculomotorius	→ äußere Augenmuskeln (s. S. 250)
Ncl. nervi trochlearis	Mesencephalon (kaudal vom Ncl. nervi oculomotorii, auf Höhe der Colliculi inferiores; ventral verläuft der Fasciculus longitudinalis medialis, dorsal der Fasciculus longitudinalis dorsalis)	IV	N. trochlearis	
Ncl. nervi abducentis	Pons	VI	N. abducens	
Ncl spinalis nervi accessorii	Medulla oblongata und Rückenmark (C1–C3)	XI	N. accessorius (Radix spinalis)	→ M. sternocleidomastoideus → M. trapezius
Ncl. nervi hypoglossi	Medulla oblongata	XII	N. hypoglossus	→ Zungenmuskulatur
Speziell viszeroefferente (branchialmotorische) Gruppe				
Ncl. motorius nervi trigemini	Pons	V ₃	N. mandibularis nervi trigemini	→ Kaumuskulatur
Ncl. nervi facialis	Pons	VII	N. facialis	→ mimische Muskulatur
Ncl. ambiguus	Medulla oblongata	IX	N. glossopharyneus	→ Schlundmuskulatur
		X	N. vagus	→ Kehlkopf- und teilweise Schlundmuskulatur
		XI	N. accessorius (Radix cranialis)	
Allgemein viszeroefferente Gruppe				
Ncl. accessorius nervi oculomotorii (Edinger-Westphal)	Mesencephalon	III	N. oculomotorius	nach Umschaltung im Ggl. ciliare: → M. ciliaris → M. sphincter pupillae
Ncl. salivatorius superior	Pons	VII	N. facialis	nach Umschaltung im Ggl. pterygopalatinum: → Gl. lacrimalis → Gll. nasales → Gll. palatinae nach Umschaltung im Ggl. submandibulare: → Gl. submandibularis → Gl. sublingualis → Gl. lingualis anterior
Ncl. salivatorius superior	Medulla oblongata (oberer Teil)	IX	N. glossopharyngeus	v. a. nach Umschaltung im Ggl. oticum: → Gl. parotidea
Nucleus posterior (dorsalis) nervi vagi	Medulla oblongata	X	N. vagus	nach Umschaltung in verschiedenen Ganglien im Brust- und Bauchraum: → glatte Muskulatur und Drüsen der Hals-, Brust- und Bauchorgane bis zum Cannon-Böhm-Punkt
→ = Efferenzen zum angegebenen Innervationsgebiet				

MERKE

- Ncl. nervi abducentis (im Tegmentum pontis): somatomotorischer Kern.
- Ncl. ambiguus: branchiomotorischer Kern des N. vagus (z. T. über Fasern aus dem XI. Hirnnerv). Somit enthalten u. a. sowohl der obere als auch der untere Kehlkopfnerve (Nervi laryngei superior und inferior, s. S. 71) Fasern aus diesem Kern.
- Parasympathische Kerne sind die Nuclei accessorius nervi oculomotorii, salivatorius superior und inferior sowie dorsalis nervi vagi.

Klinischer Bezug

Bulbär- und Pseudobulbärparalyse: Eine Degeneration der kaudal gelegenen motorischen Hirnnervenkerne im Bereich der Medulla oblongata bezeichnet man als Bulbärparalyse.

Charakteristische Symptome sind: Sprachstörungen (verlangsamte, verwaschene, nieselnde Sprache), Schluck- und Kaustörungen, Aspiration von Speichel und Speisen, Lähmung und Atrophie der Zunge mit Faszikulationen (wurmformige Bewegung der Muskeln durch spontane Entladung einzelner motorischer Einheiten). Bis auf diese Faszikulationen kommt es zu ähnlichen Symptomen bei der sog. Pseudobulbärparalyse, die durch beiderseitige Schädigung der kortikobulbären Bahnen (supranukleär) bedingt ist.

Mögliche Ursachen einer Bulbärparalyse sind u. a. amyotrophe Lateralsklerose (s. auch S. 199) und Poliomyelitis. Eine Pseudobulbärparalyse kann durch Arteriosklerose der Hirngefäße mit dadurch bedingter Sauerstoff-Minderversorgung (Ischämie), multiple Sklerose und Lues bedingt sein.

5.7.2 Die Endkerne

An den Neuronen der Endkerne enden afferente Fasern verschiedener Hirnnerven (Tab. 5.2). Die zugehörigen Perikarya liegen entweder in den (Spinalganglien vergleichbaren) sensiblen Hirnnervenganglien oder im Ganglion spirale cochleae bzw. vestibulare (N. vestibulocochlearis). Nach Umschaltung in den Endkernen senden die dort gelegenen Neurone ihre Fasern zu weiteren „Stationen“ des ZNS (Thalamus, Stationen der Hörbahn oder des vestibulären Systems (s. S. 214 und S. 217).

MERKE

- Die Ncll. tractus solitarii erhalten sowohl allgemeine Viszeroafferenzen (aus Eingeweiden und Gefäßen über die Hirnnerven X und IX) als auch spezielle Viszeroafferenzen (Geschmacksfasern über die Hirnnerven VII, IX und X).
- Die Ncll. principalis und spinalis nervi trigemini sind somatoafferente Kerne.

Zur Anordnung der sensiblen Neurone im Trigemini-Kernkomplex (Tab. 5.2) muss zunächst unterschieden werden, dass der Nucleus principalis für Mechanorezeption, der Nucleus spinalis für Nozi-, Thermo- und Mechanorezeption verantwortlich ist. Innerhalb des langgestreckten Nucleus spinalis lässt sich weiterhin eine somatotope Ordnung erkennen: In seinem kranialen Teil ist das Hautareal um Mund und Nase, im mittleren Teil die Augen- und Wangenregion und im unteren Teil die Stirn-, Schläfen- und Kinnregion repräsentiert. Damit sind diese zwiebelschalenförmigen Areale gänzlich anders angeordnet als das periphere Innervationsmuster durch die drei Hauptäste des N. trigeminus (V_1 – V_3).

5.7.3 Die Sonderstellung des Nucleus mesencephalicus nervi trigemini

Zu unterscheiden von den beiden in Tab. 5.2 aufgeführten Trigeminskernen ist der Nucleus mesencephalicus nervi trigemini. Er ist *kein* Endkern, sondern enthält pseudounipolare Zellkörper von Trigemini-fasern, die propriozeptive Signale leiten und am ipsilateralen motorischen Trigeminskern enden (vgl. Masseterreflex, S. 210). In seiner Struktur ist er mit dem Ganglion trigeminale (Gasser-Ganglion) vergleichbar, in dem die Perikarya der übrigen sensiblen Trigemini-fasern liegen.

MERKE

Der propriozeptive Nucleus mesencephalicus ist kein Endkern, sondern enthält pseudounipolare Nervenzellen und entspricht damit einem sensiblen Ganglion des PNS (keine Umschaltung!)

Tabelle 5.2

Endkerne			
Kern	Lage	Hirnnerv	Innervationsgebiet
Allgemein viszeroafferente Gruppe			
Ncll. tractus solitarii (untere Teile)	Medulla oblongata	IX N. glossopharyngeus	← Sinus caroticus bzw. Glomus caroticum (Pres- so- bzw. Chemorezeptoren)
		X N. vagus	← Aortenbogen (Dehnungsrezeptoren) ← Schleimhaut im Bereich des Kehlkopfs und unteren Schlunds ← sonstige Brust- und Bauchorgane bis zum Cannon-Böhm-Punkt
Speziell viszeroafferente Gruppe			
Ncll. tractus solitarii (obere Teile)	Medulla oblongata	VII N. facialis	← vordere $\frac{2}{3}$ der Zunge (Geschmack)
		IX N. glossopharyngeus	← hinteres $\frac{1}{3}$ der Zunge (Geschmack)
		X N. vagus	← Epiglottis und Übergang zum Zungengrund (Geschmack)
Allgemein somatoafferente Gruppe			
Nucleus principalis nervi trigemini* (Hauptkern)	Pons	V N. trigeminus	← Gesichtshaut und Schleimhaut der Mund- und Nasenhöhle (feine Druck- und Berührungs- empfindungen)
Nucleus spinalis nervi trigemini*	Pons bis Zervikalmark		← Gesichtshaut und Schleimhaut der Mund- und Nasenhöhle (grobe Druck- und Berührungs- empfindungen, Schmerz- und Temperatur) ← Augenmuskeln (Propriozeption)
Speziell somatoafferente Gruppe			
Ncll. cochleares (auf jeder Seite 2, s. S. 214)	Pons und in obere Medulla oblongata	VIII N. vestibulocochlearis	← Innenohr (Gehör)
Ncll. vestibulares (auf je- der Seite 4, s. S. 217)	(extrem weit lateral in der Rautengrube)		← Innenohr (Gleichgewicht)
← = Afferenzen aus dem angegebenen Innervationsgebiet * Zu diesen Trigeminskernen ziehen auch einige allgemein somatoafferente Fasern über die Hirnnerven VII, IX und X.			

5.7.4 Die Austrittsstellen der Hirnnerven III–XII

Während der N. olfactorius (I, s. S. 219) dem Telencephalon und der N. opticus (II, s. S. 210) dem Diencephalon zuzuordnen sind, treten die restlichen Hirnnerven aus dem Hirnstamm (und ein Teil des XI. Hirnnervs aus dem oberen Zervikalmark) aus (bzw. bei afferenten Fasern funktionell gesehen ein). Im Gegensatz zu den ersten beiden Hirnnerven, bei denen es sich um Hirnausstülpungen und somit eigentlich nicht um Nerven, sondern um Teile des ZNS handelt, gehören die in Tabelle 5.3 aufgeführten Hirnnerven zum PNS (s. a. S. 33).



Das Einprägen der Zahlenfolge 1 – 1 – 2 – 4 – 4 kann Ihnen helfen, sich die Höhe der häufig geprüften Austrittsstellen besser zu merken: Jeweils 1 Hirnnerv zählt zum Tel- und Diencephalon (nicht in Tab. 5.3 aufgeführt, da nicht zum Hirnstamm gehörig), 2 Hirnnerven können dem Mesencephalon zugeordnet werden und jeweils 4 Hirnnerven verlassen den Pons sowie (zumindest anteilig) die Medulla oblongata.

Der **Kleinhirnbrückenwinkel** (Angulus pontocerebellaris) ist eine nischenartige Einsenkung zwischen Unterrand der Brücke, oberem Ende der Olive und Kleinhirn (in der Seitenansicht des Hirnstamms). Hier treten (von medial nach lateral) der N. facialis, N. intermedius und der N. vestibulocochlearis aus.

Tabelle 5.3

Austrittsstellen der Hirnnerven aus dem Hirnstamm (vgl. Abb. 5.2 und Abb. 5.3, S. 94)		
Hirnnerv	Höhe	Austrittsstelle
III N. oculomotorius	Mesencephalon	Fossa interpeduncularis (→ Verlauf in der Cisterna interpeduncularis, s. S. 173)
IV N. trochlearis		unterhalb der Colliculi inferiores (einziger Hirnnerv, der dorsal austritt)
V N. trigeminus	Pons	seitlich am Pons
VI N. abducens		am Unterrand der Brücke (oberhalb der Pyramiden)
VII N. facialis		im Kleinhirnbrückenwinkel
VIII N. vestibulocochlearis	Medulla oblongata	im Kleinhirnbrückenwinkel
IX N. glossopharyngeus		im Sulcus retroolivaris (mit zahlreichen Wurzelfäden über X)
X N. vagus		im Sulcus retroolivaris (mit zahlreichen Wurzelfäden, zwischen IX und XI)
XI N. accessorius		im Sulcus retroolivaris (Wurzelbündel: Radices craniales unter X) und oberes Rückenmark, zwischen Vorder- und Hinterwurzel der Spinalnerven C1 bis C4, manchmal auch bis C6 (Wurzelbündel: Radix spinalis)
XII N. hypoglossus		im Sulcus preolivaris (zwischen Olive und Pyramide, mit zahlreichen Wurzelfäden)

5

Klinischer Bezug

Akustikusneurinom: Neurinome sind benigne Neubildungen, die von den Schwann-Zellen ausgehen. Anders als die Bezeichnung „Akustikusneurinome“ nahelegt, treten sie am häufigsten am vestibulären Anteil des N. vestibulocochlearis auf (meist zwischen dem 30. und 50. Lebensjahr). Ihre Lage am Kleinhirnbrückenwinkel erklärt, dass zunehmende Schwerhörigkeit, Ohrgeräusche und Gleichgewichtsstörungen oft nicht die einzigen Symptome sind. Besonders bei großen Tumoren können eine Fazialis- und/oder Abduzensparese sowie sogar Trigeminausfälle und eventuell Kleinhirnsymptome (s. S. 119) hinzukommen.



Check-up

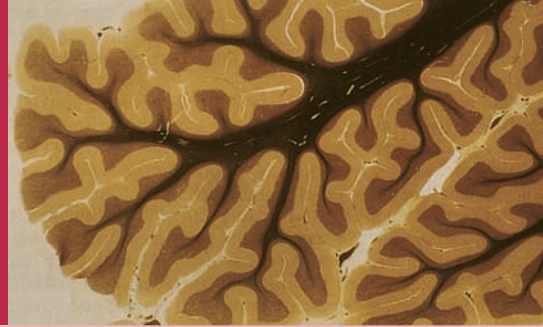


Machen Sie sich nochmals die Lage des Nucleus nervi trochlearis und seine topographische Beziehung zum Nucleus nervi facialis klar.



Rekapitulieren Sie, welche Hirnnerven allgemein somatoefferente Fasern führen.

Kapitel 6



Kleinhirn (Cerebellum)

- 6.1 Der Überblick 117
- 6.2 Die Lage, Gliederung und Funktion 117
- 6.3 Der Aufbau 120

Gift für das Kleinhirn



Übermäßiger Alkoholenuss kann u.a. zu Störungen des Kleinhirns führen.

Das Kleinhirn ist verantwortlich für die Gleichgewichtserhaltung, die Kontrolle des Muskeltonus und die Koordination von Bewegungen. Fallen Kleinhirnfunktionen aus, sind Bewegungsabläufe schwer gestört. Patienten klagen über Gleichgewichtsstörungen, ihre Bewegungen schießen über das Ziel hinaus oder werden von einem grobschlägigen Zittern, dem so genannten Intentionstremor, begleitet. Unter Umständen können betroffene Menschen Gegenstände nicht mehr greifen und feine Bewegungen nicht ausführen.

Koordinationsstörungen

„Frau Doktor, ich bin so unsicher beim Gehen. Bald kann ich nicht mehr alleine einkaufen – so wackelig bin ich auf den Beinen“, beklagt sich Angelika V. Die 58-jährige Hausfrau kommt zum ersten Mal in die Praxis von Frau Dr. Straub. Um sich ein genaues Bild von der Patientin zu machen, führt die Ärztin eine ausführliche neurologische Untersuchung durch. Im Stehversuch stellt sie fest, dass Frau V. beim Stehen mal nach vorne, mal nach hinten schwankt. Ihr Gang ist breitbeinig. Der Ärztin kommt es sogar vor, als würde die Patientin torkeln. Um ihre Koordination zu überprüfen, bittet sie die 58-jährige, nach einem Wasserglas zu greifen. Als die Patientin der Aufforderung nachkommt, macht ihr Arm zickzackartige Bewegungen, die umso ausgeprägter werden, je mehr sich die Hand dem Glas nähert. Dieselben Armbewegungen präsentiert die Patientin, als die Ärztin sie auffordert, bei geschlossenen Augen und weit ausholender Bewegung die Nasenspitze mit dem Zeigefin-

ger zu berühren. Am Schluss trifft Frau V. trotz großer Anstrengung nicht die Nasenspitze, sondern ihr rechtes Auge. „Intentionstremor“ und „Dysmetrie“ schreibt die Ärztin in den Aufnahmebogen. Die Koordination der Beinbewegungen ist bei der Patientin ebenfalls gestört: Angelika V. schafft es nicht, mit der rechten Ferse geradeaus entlang des linken Schienbeins zu streifen. Die Ferse rutscht immer wieder nach links und rechts ab. Die Ärztin schaut sich auch die Augenbewegungen der Patientin an: Als sie feststellt, dass die Blickfolge immer wieder unterbrochen wird, um gleich wieder nachgestellt zu werden, dokumentiert sie diesen Befund als „sakkadierte Blickfolge“. Der erfahrenen Neurologin ist das Syndrom, das Frau V. zeigt, vertraut: Die Kombination aus breitbeinigem Gang, Intentionstremor, Dysmetrie und sakkadierter Blickfolge passt gut zu einer Störung des Kleinhirns. Um zu sehen, was dahintersteckt, lässt sie eine zerebrale Computertomographie ihrer Patientin anfertigen.

Kleineres Kleinhirn

Als Angelika V. wenige Tage später wieder die Praxis aufsucht, sind ihre Symptome unverändert. Die Neurologin betrachtet die CT-Aufnahmen der Patientin auf dem Bildschirm. Die Diagnose ist nicht schwierig: Das Kleinhirn der Patientin ist unproportional klein; es handelt sich um eine Kleinhirnatrophie – ein Phänomen, das toxisch durch Schwermetalle, Medikamente oder Alkohol auftreten kann, im Rahmen von Krebserkrankungen beziehungsweise nach zytostatischer Behandlung oder auch genetisch bedingt vor kommt.

Grund: Alkoholabusus

Inzwischen hat sich die Ärztin auch mit den Blutparametern von Frau V. vertraut gemacht. Insbesondere fielen ihr die erhöhten Leberwerte (v.a. γ -GT) und vergrößerte Erythrozyten (erhöhtes mittleres korpuskuläres Erythrozytenvolumen = MCV) auf. Aufgrund der Laborwerte und der typischen Kleinhirn-Symptome hat die Ärztin den Verdacht, dass die Patientin chronisch Alkohol konsumiert. Als sie Angelika V. darauf anspricht, ist diese befangen. „Wissen Sie, ich war deswegen schon oft in Behandlung. Doch es hat nichts genützt. Von dem Teufelszeug komme ich einfach nicht los“, gesteht die Patientin.

6 Kleinhirn (Cerebellum)

6.1 Der Überblick

Das Kleinhirn ist ca. 140 g schwer und liegt in der hinteren Schädelgrube dorsal des Hirnstamms, mit dem es auf jeder Seite durch drei Kleinhirnstiele verbunden ist. Seine Oberfläche ist gekennzeichnet durch parallel verlaufende Furchen, zwischen denen schmale Windungen liegen.

Das Kleinhirn selbst kann keine Ausführung von Bewegungen bewirken, sondern beeinflusst sie im Sinne einer **Feinabstimmung, Koordination** und **Aufrechterhaltung des Gleichgewichts** sowie des **Muskelonus**. Um dieser Aufgabe gerecht zu werden, benötigt es einen hohen Informationsfluss, der durch zahlreiche afferente und efferente Fasern in den drei **Kleinhirnstielen** gewährleistet ist. Über sie erhält es motorische Informationen (v.a. aus dem Telencephalon) sowie für die Motorik wichtige sensorische Informationen (v.a. über das Gleichgewicht aus dem Vestibularorgan und dem Rückenmark). Diese Informationen werden durch komplexe Verschaltungen innerhalb der **dreischichtigen Kleinhirnrinde** (unbewusst) aufeinander abgestimmt. Von hier ziehen die meisten efferenten Fasern zunächst zu den vier paarigen **Kleinhirnkernen**, die eine Art Zwischenstation bilden, bevor deren Efferenzen dann das Kleinhirn verlassen und wiederum wichtige motorische Zentren des ZNS sowie die Vestibulariskerne erreichen. Durch diese Einbindung des Kleinhirns in das motorische und vestibuläre System können u.a. differenzierte Bewegungen zielsicher ablaufen und Anpassungen an plötzliche Lageänderungen erfolgen.

6.2 Die Lage, Gliederung und Funktion



Lerncoach

Machen Sie sich im folgenden Kapitel zunächst mit den rein topographischen und deskriptiven Begriffen zum Kleinhirn vertraut.

Von größerer Bedeutung ist die funktionelle Gliederung des Kleinhirns in drei Abschnitte,

die entsprechend der unterschiedlichen Herkunft ihrer Hauptafferenzen benannt sind und im Rahmen von Bewegungsabläufen verschiedene Aufgaben übernehmen. Achten Sie hierbei auf die Abgrenzung des Pontocerebellum gegenüber den beiden phylogenetisch älteren Anteilen (Spino- und Vestibulocerebellum).

6.2.1 Die Lage

Das Kleinhirn (Cerebellum) liegt dorsal von Pons, Medulla oblongata und IV. Ventrikel in der Fossa cranii posterior (hintere Schädelgrube). Nach oben wird es durch das Tentorium cerebelli (Kleinhirnzelt, aus Dura mater, s. S. 170) vom Lobus occipitalis getrennt.

Auf der Vorderseite ist das Kleinhirn rechts und links durch jeweils drei Kleinhirnstiele (Pedunculi cerebellaris superior, medius und inferior, **Abb. 6.1 a** und S. 124) mit dem Hirnstamm verbunden.

Über die Pedunculi cerebellares entlässt das Kleinhirn seine Efferenzen und erhält seine Afferenzen.

Die beiden oberen Kleinhirnstiele grenzen nach medial an das Velum medullare superius, eine dünne Platte aus weißer Substanz (Marklamelle) zwischen Kleinhirn und Vierhügelplatte des Mittelhirns. Das Velum bildet den oberen Teil des Daches vom vierten Ventrikel.

Der untere Teil des Daches wird durch eine zweite Marklamelle gebildet, das Velum medullare inferius. Es spannt sich zwischen Kleinhirn (Nodus und Flocculus) und Medulla oblongata aus.

6.2.2 Die morphologische Gliederung

Das Kleinhirn gliedert sich in

- zwei Kleinhirnhemisphären (**Hemisphäria cerebelli**) und
- Kleinhirnwurm (**Vermis cerebelli**). Er liegt in der Mitte zwischen den beiden Hemisphären und umfasst u.a. auch den **Nodus vermis** an seiner Unterseite.

Der **Flocculus** liegt als kleiner Teil der Hemisphären beidseits am Pedunculus cerebellaris medius und inferior der Kleinhirnunterfläche und ist über einen Stiel (Pedunculus flocculi) mit dem Nodus verbunden. Dieser kleine **Lobus flocculonodularis** wird der übrigen (Haupt-)Masse des Kleinhirns (**Corpus cerebelli**) gegenübergestellt.

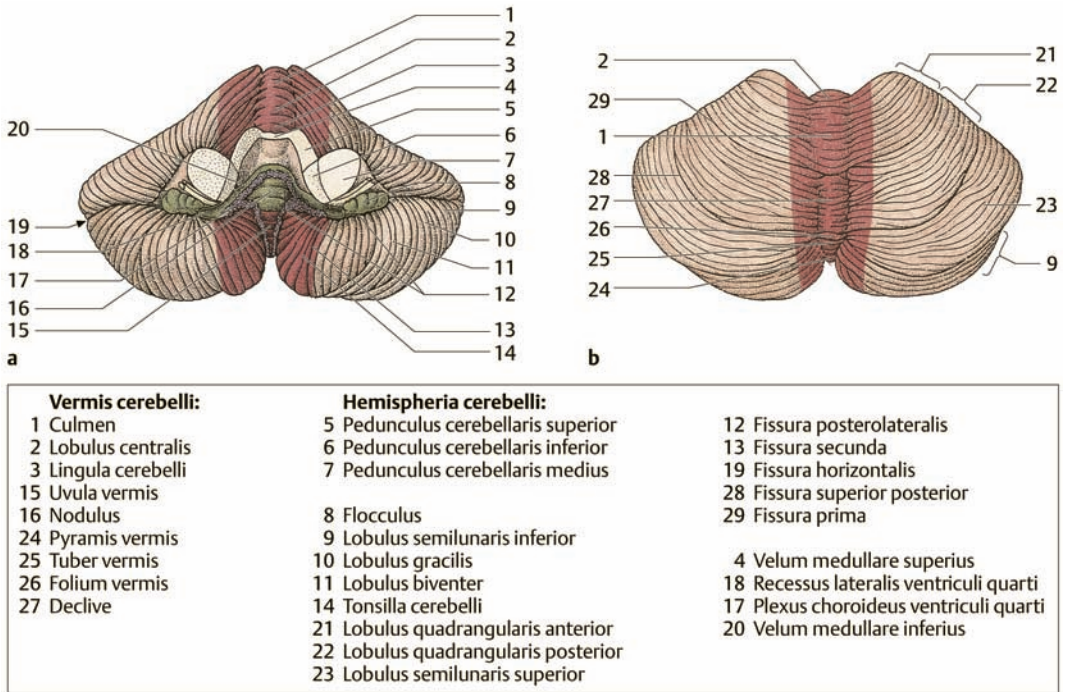


Abb. 6.1 Ansicht des Kleinhirns von vorne (a) und hinten-oben (b) mit farblicher Differenzierung seiner drei Anteile

Die Oberfläche des Kleinhirns zeigt eine auffällige Furchung. Zwischen zahlreichen annähernd parallel verlaufenden Furchen (**Fissurae cerebelli**) liegen schmale Windungen (**Folia cerebelli**). Einige Furchen sind tiefer und entstehen ontogenetisch zu einem früheren Zeitpunkt. Diese Furchen unterteilen das Kleinhirn in Lappen:

Die **Fissura prima** teilt das Kleinhirn in **Lobus cerebelli anterior** und **Lobus cerebelli posterior**. Die tiefe Fissur auf der hinteren-oberen Fläche des Kleinhirns zieht über den Vermis und die Hemisphären hinweg.

Die **Fissura posterolateralis** grenzt den **Lobus flocculonodularis** vom Lobus cerebelli posterior ab.

Anhand weiterer Fissuren werden in der traditionellen Nomenklatur verschiedene Abschnitte unterschieden, die größtenteils als Läppchen bezeichnet werden:

Die **Fissura horizontalis** liegt zwischen Lobulus semilunaris superior und Lobulus semilunaris inferior.

Die **Fissura secunda** findet sich zwischen Lobulus biventer/Pyramis und Tonsilla/Uvula.

Mit diesen (beidseitigen) Läppchen der Hemisphären sowie der paarigen Tonsilla hängt in der Regel jeweils ein Abschnitt des Wurms zusammen (**Abb. 6.1 b**), z. B.:

- Tonsilla – Uvula
- Lobulus gracilis und Lobulus biventer – Pyramis
- Lobulus semilunaris inferior – Tuber
- Lobulus semilunaris superior – Folium
- Lobulus quadrangularis posterior – Declive (zusammen auch als Lobulus simplex bezeichnet)
- Lobulus quadrangularis anterior – Culmen.

Bis auf den Lobulus quadrangularis anterior gehören alle Lobuli, die zugehörigen Wurmanteile und die paarige Tonsilla zum Lobus cerebelli posterior. Der Lobulus quadrangularis anterior bildet zusammen mit der Ala lobuli und den Wurmanteilen Lobulus centralis, Lingula cerebelli sowie Culmen den Lobus cerebelli anterior.



Diese deskriptiven makroskopischen Begriffe können nicht mit definierten Funktionen oder Projektionen korreliert werden. Da sie in der Regel nicht im Detail geprüft werden, sind hier nicht alle Fissuren und Abschnitte einzeln aufgeführt. Einzelheiten können Sie Abb. 6.1 entnehmen.

6.2.3 Die funktionelle Gliederung

Nach funktionellen Kriterien lässt sich das Kleinhirn in drei Anteile gliedern. Die funktionelle Gliederung steht größtenteils in Übereinstimmung mit der phylogenetischen Gliederung (Abb. 6.1).



Lassen Sie sich nicht von den z. T. unterschiedlich genutzten Einteilungen mit etwas variierenden Grenzen irritieren.

Die drei Anteile sind:

- **Vestibulocerebellum** (Archicerebellum, Urkleinhirn): Dieser phylogenetisch älteste Teil des Kleinhirns ist eng mit dem Vestibularapparat verbunden (Afferenzen aus den Vestibulariskernen). Er besteht in erster Linie aus dem Lobus flocculonodularis. Seine Hauptfunktionen liegen im Bereich der *Stützmotorik* (Stabilisierung von Stand und Gang) sowie der *Blickmotorik*.
- **Spinocerebellum** (Paleocerebellum, Altkleinhirn): Dieser Teil erhält seine Afferenzen vorwiegend aus dem Rückenmark. Er besteht aus dem Kleinhirnwurm (ohne Nodus) und der paravermalen Zone der Hemisphären (auch Pars intermedia = intermediäre Zone genannt). Funktionell steht die *Regulation des Muskeltonus* im Vordergrund.
- **Pontocerebellum** (Cerebrocerebellum, Neocerebellum, Neukleinhirn): Hierbei handelt es sich um den größten Teil des Kleinhirns, der sich phylogenetisch zuletzt (mit der Entfaltung des Endhirns) entwickelt hat. Das Pontocerebellum erhält seine Afferenzen aus den Ponskernen und steht damit in enger Beziehung zur Endhirnrinde. Es wird von den beiden Partes laterales der Kleinhirnhemisphären gebildet. Besondere Bedeutung kommt dem Pontocerebellum bei der

Koordination von fein abgestimmter (präziser) *Zielmotorik* und *Sprechmuskulatur* zu.

6.2.4 Die Funktionen des Kleinhirns

Die Informationen, die u. a. aus dem Vestibularapparat, Rückenmark und über die pontinen Kerne aus kortikalen Arealen zum Kleinhirn gelangen, werden hier (unbewusst) verarbeitet. Die Efferenzen der Kleinhirnrinde ziehen zu Zentren, von denen die Kleinhirnrinde z. T. auch Afferenzen erhält und die für die Motorik von Bedeutung sind. Über die dadurch entstehenden Rückkopplungsschleifen ist es dem Kleinhirn möglich, koordinierend in Bewegungsabläufe einzugreifen (s. a. S. 204). Im Einzelnen ist es verantwortlich für:

- die Gleichgewichtserhaltung
- die Kontrolle des Muskeltonus
- präzise und zielgerichtete Ausführung (Koordination und Feinabstimmung) von Bewegungen
- Zusammenspiel einzelner Muskelgruppen
- Integration von Korrekturen in Bewegungsimpulse.

MERKE

Das Kleinhirn greift modulierend in Bewegungsprozesse ein, indem es – sowohl bei willkürlich durchgeführten als auch bei unerwartet notwendigen Bewegungen (z. B. bei Veränderungen der Lage) – Informationen darüber erhält und Anpassungen, d. h. Korrekturen am motorischen Programm vornehmen kann.

Klinischer Bezug

Klinische Zeichen bei Kleinhirnerkrankungen: Die funktionelle Bedeutung des Kleinhirns wird insbesondere bei Kleinhirnläsionen deutlich. Sie sind charakterisiert durch Störungen in der Gleichgewichtsregulation sowie der Koordination und Feinabstimmung von Bewegungen. Dementsprechend sind bei der neurologischen Untersuchung folgende Auffälligkeiten zu beobachten, die je nach Ort der Schädigung in ihrer Ausprägung variieren können:

- **Dysmetrie:** Unfähigkeit, Bewegungen richtig abzumessen; die fehlende Kontrolle führt insbesondere zu Bewegungen über das Ziel hinaus (Hypermetrie)



Abb. 6.2 Rebound-Phänomen bei Kleinhirnläsion im Vergleich zum Gesunden: **a** und **b** normale Reaktion; **a** und **c** Reaktion bei Läsion

6

- Dysdiadochokinese: das schnelle Zusammenwirken von antagonistischen Muskeln ist beeinträchtigt; rasche Pro- und Supinationsbewegungen (wie z. B. beim Schraubendreher) sind nicht möglich
- Intentionstremor: Auftreten von Zittern bei Annäherung einer Bewegung auf ein Ziel (z. B. beim Versuch, mit dem Finger die Nasenspitze zu treffen = Finger-Nase-Versuch)
- Makrographie: verwackelte große Schrift
- skandierende Sprache: undeutlich, schleppend, monoton, abgehackt, stockend, z. T. explosiv
- Rebound-Phänomen: plötzliches Abbremsen einer Bewegung gelingt nicht (**Abb. 6.2**)
- grobschlägiger Nystagmus: langsame und entgegengerichtete schnelle Augenbewegungen.
- Muskelhypotonie: Abschwächung des Muskeltonus
- Rumpf- und Standataxie: Schwanken beim Sitzen oder Stehen
- Gangataxie: unsicherer, torkelnder, breitbeiniger Gang.

Bei einer Schädigung der Pars lateralis der Hemisphären überwiegen die ersten sechs der genannten Symptome während die letzten vier bevorzugt bei Läsionen von Vestibulo- und Spinocerebellum auftreten.



Check-up

- ✓ **Vergegenwärtigen Sie sich, woher die drei funktionellen Kleinhirnantile (Vestibulo-, Spino- und Pontocerebellum) Afferenzen erhalten, um ihre Aufgaben erfüllen zu können.**
- ✓ **Machen Sie sich klar, aus welchen morphologischen Kleinhirnstrukturen jeder dieser drei funktionellen Anteile besteht.**

6.3 Der Aufbau



Lerncoach

Das Kleinhirn muss eine Vielzahl an Informationen aus anderen Zentren des ZNS erhalten und aufeinander abstimmen, um eine koordinierende Wirkung auf die Motorik ausüben zu können. Achten Sie beim Lernen der dafür erforderlichen zahlreichen Verbindungen und Verschaltungen insbesondere auf:

- **die komplexen Verschaltungen in der Kleinhirnrinde**
- **die besondere Stellung der Kleinhirnerne**
- **die Fasersysteme, die in den Kleinhirnstielen verlaufen.**

An Kleinhirnschnitten wird der Aufbau sichtbar:

- Graue Substanz findet sich – wie auch im Großhirn – in Form der Kleinhirnrinde (**Cortex cerebelli**) und den Kleinhirnkernen (**Nuclei cerebelli**).
- Weiße Substanz bildet als Verbindung zum Hirnstamm die Kleinhirnstiele (**Pedunculi cerebelli**), umgibt die Kerne als **Corpus medullare cerebelli** und dringt in die Windungen der Rinde ein. Daraus ergibt sich das typische Bild des Lebensbaumes (**Arbor vitae**).

6.3.1 Die Kleinhirnrinde

Die Kleinhirnrinde ist in drei Schichten unterschiedlicher Breite gegliedert (**Abb. 6.3**).

Diese Dreischichtigkeit kommt durch die charakteristische Verteilung verschiedener Zellen und ihrer Zellfortsätze zustande. Zusätzlich enden in der Kleinhirnrinde Afferenzen aus anderen Teilen des

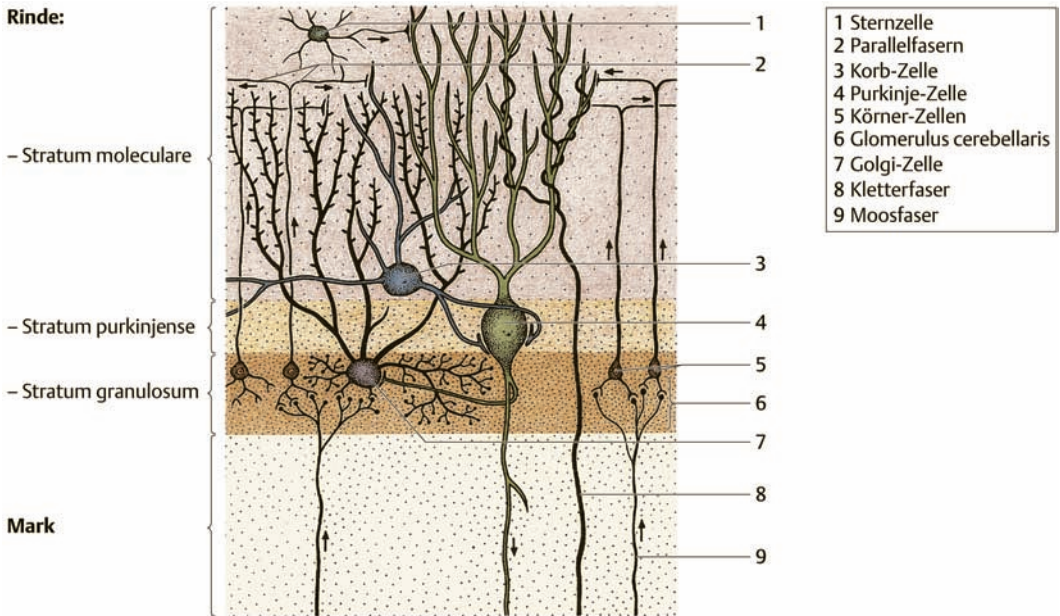


Abb. 6.3 Verschaltungen in der Kleinhirnrinde

ZNS. Die einzelnen für das Verständnis der Kleinhirnrinde wichtigen Neurone und Faserarten sind in Tab. 6.1 zusammengefasst und bilden von außen nach innen folgende Schichten:

- **Stratum moleculare** (Molekularschicht): Dies ist die dickste der drei Schichten. Sie enthält zahlreiche Fasern und viele Synapsen, aber nur wenige Nervenzellkörper.
- **Stratum purkinjense** (früher: Stratum ganglionare; Purkinje-Zellschicht) als schmale Schicht in der Mitte.
- **Stratum granulosum** (Körnerschicht): Diese breite Schicht grenzt innen an das Marklager.

Von den verschiedenen in der Kleinhirnrinde vorkommenden Nervenzelltypen entsenden nur Purkinje-Zellen Axone, die die Rinde verlassen. Alle anderen (Golgi-, Stern- und Korbzellen) sind inhibitorische Interneurone. Sie hemmen bestimmte Purkinje-Zellen (vgl. Umfeldhemmung, laterale Hemmung S. 82) und dienen dadurch der räumlichen Kontrastverstärkung.



Machen Sie sich mit Hilfe von Tabelle 6.1 und Abbildung 6.3 klar, welche Strukturen in welcher der drei Schichten liegen und welche Verschaltungen zwischen den Zellen bestehen.

MERKE

- Im Stratum moleculare stehen die Dendritenbäume der Purkinje-Zellen senkrecht zur Längsachse der Folia cerebelli, die Parallelfasern der Körnerzellen hingegen in Längsrichtung.
- Die Axone der Purkinje-Zellen sind die einzigen efferenten Fasern der Kleinhirnrinde und wirken
 - wie fast alle anderen Zellen der Kleinhirnrinde
 - inhibitorisch.
- Die Körnerzellen sind die einzigen Zellen der Kleinhirnrinde mit exzitatorischer Wirkung.
- Die ebenfalls exzitatorischen Moos- und Kletterfasern sind Afferenzen aus anderen Gebieten des ZNS.

Tabelle 6.1

Zellen und Faserarten der Kleinhirnrinde	
neuronale Struktur	Charakteristika
Zellen	
Purkinje-Zellen	– inhibitorisch (GABAerg) – Perikarya: – groß, rundlich oder birnenförmig – im Str. purkinjense in einer Reihe mit definierten Abständen zueinander – Dendritenbäume: – meist 2 (1–4) Dendriten – stark verzweigt – spalterbaumartig angeordnet (Lage in einer Ebene, die quer zur Längsachse der Kleinhirnwindungen steht) – in der Molekularschicht (ganze Höhe) – Axone: – einzige Efferenzen der Kleinhirnrinde – ziehen zu den Kleinhirnkernen – Kollateralen zu Korb- und Golgi-Zellen
Sternzellen	– inhibitorische Interneurone – Molekularschicht, obere Hälfte – Axone bilden Synapsen mit Dendritenbäumen der Purkinje-Zellen im Str. purkinjense
Korbzellen	– inhibitorische Interneurone – Perikarya: Molekularschicht (untere Hälfte) – Axone: umfassen im Str. purkinjense korbartig die Somata der Purkinje-Zellen und enden an deren Axoninitialsegmenten
Golgi-Zellen	– inhibitorische Interneurone – Perikarya: – größer als die der Körnerzellen – im Stratum granulosum – Dendriten: – ziehen durch das Str. purkinjense – verzweigen sich dreidimensional im Str. moleculare – Axone bilden in den Glomeruli cerebellares (s. u.) synaptische Kontakte an Dendriten der Körnerzellen
Körnerzellen	– einzige exzitatorische Zellen der Kleinhirnrinde – Perikarya: – sehr klein und rund – dicht gepackt im Stratum granulosum – Axone bilden Parallelfasern in der Molekularschicht (s. u.)
Bergmann-Gliazellen	– Sondertyp der Astroglia – Perikarya im Str. purkinjense – radiäre Fortsätze bilden mit Endfüßen Gliagrenzmembranen um Gefäße und unter der Pia mater (Membrana limitans gliae vascularis und superficialis)
afferente Fasern	
Parallelfasern	– Axone der Körnerzellen (also aus der Kleinhirnrinde selbst) – verzweigen sich T-förmig – verlaufen parallel zur Längsachse der Kleinhirnwindungen und damit senkrecht zur Ebene der Dendritenbäume der Purkinje-Zellen – bilden eine große Anzahl von Synapsen an – Dendriten vieler Purkinje-Zellen – Korb- und Sternzellen – Dendriten der Golgi-Zellen
Kletterfasern	– Axone aus dem Nucleus olivaris inferior – ziehen durch Str. granulosum und Str. purkinjense hindurch – steigen an Dendritenbäumen der Purkinje-Zellen auf und bilden mit ihnen synaptische Kontakte im Str. moleculare – exzitatorische Wirkung
Moosfasern	– Axone aus verschiedenen Gebieten des ZNS: – Pons (Tractus pontocerebellaris) – Nuclei vestibulares (Tractus vestibulocerebellaris) – Formatio reticularis (Tractus reticulocerebellaris) – Tectum (Tractus tectocerebellaris) – Nucleus cuneatus accessorius (Fibrae cuneocerebellares, s. S. 84) – Rückenmark (Tractus spinocerebellaris anterior und posterior) – enden im Str. granulosum und bilden dort synaptische Kontakte mit – Dendriten benachbarter Körnerzellen – Axonen und Dendriten der Golgi-Zellen. – Diese Synapsenfelder (lichtmikroskopisch frei von Zellkernen) werden als Glomeruli cerebellares bezeichnet. – exzitatorische Wirkung

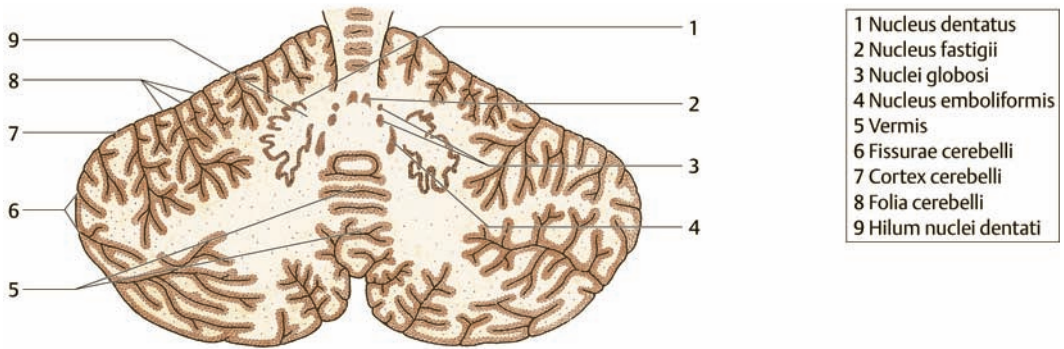


Abb. 6.4 Schrägschnitt (aus der Horizontalebene gedreht) durch das Cerebellum mit Kleinhirnkernen.

6.3.2 Die Kleinhirnkernkerne

6.3.2.1 Die Lage und die Form der Kleinhirnkernkerne

Eingelagert in die weiße Substanz des Kleinhirns sieht man auf Horizontalschnitten die Kleinhirnkernkerne (Abb. 6.4):

- **Nucleus dentatus** (Zahnkern): Dieser größte Kleinhirnkern liegt am weitesten lateral und ähnelt einem Beutel mit anteromedialer Öffnung (Hilum nuclei dentati), dessen Oberfläche stark gefaltet (gezähnt) ist.
- **Nucleus fastigii** (First- oder Giebelkern): Seinen Namen hat dieser mediale Kern von seiner Lage im Dach des IV. Ventrikels.
- **Nuclei globosi** (Kugelkerne): Die beiden kleineren Kerne lateral vom Nucleus fastigii und medial vom Nucleus dentatus sind rundlich.
- **Nucleus emboliformis** (Pfropfkern): Er liegt vor dem Hilum des Nucleus dentatus.

Die Nuclei globosi und emboliformis werden auch als Nucleus interpositus zusammengefasst.

6.3.2.2 Die Verschaltungen der Kleinhirnkernkerne

Die Kleinhirnkernkerne erhalten ihre Afferenzen von Kollateralen der Bahnen, die zur Kleinhirnrinde projizieren. Eine weitere Afferenz der Kerne kommt von den Purkinje-Zellen des Kleinhirns, über die eine inhibitorische Kontrolle der Kerne stattfindet. Von den Kleinhirnkernen gehen fast *alle* Efferenzen aus, die das Kleinhirn verlassen (z.B. zum Thalamus, Nucleus ruber, Ncll. vestibulares, Formatio re-

ticularis). Lediglich einige Purkinje-Zellen projizieren ohne Umschaltung in den Kleinhirnkernen auf den Ncl. vestibularis lateralis.

Der **Nucleus dentatus** erhält seine Zuflüsse aus der Rinde (Purkinje-Zellen) der Kleinhirnhemisphären (Pontocerebellum, vor allem Pars lateralis, d.h. laterale Zone der Hemisphäre). Er projiziert über den Pedunculus cerebellaris superior (s.u.) zum Nucleus ruber (Pars parvocellularis) und zum Thalamus (Nucleus ventralis lateralis) der Gegenseite.

Die **Nuclei globosi und emboliformis** erhalten ihre Afferenzen aus der intermediären Längszone (auch paramediane oder paravermale Zone der Hemisphäre, Spinocerebellum). Die Efferenzen ziehen über den oberen Kleinhirnstiel zum Nucleus ruber (Pars magnocellularis) und zum Thalamus (Nucleus posterior ventrolateralis) der Gegenseite.

Der **Nucleus fastigii** erhält seine Afferenzen vor allem von den Purkinje-Zellen des Wurms (mediale Längszone, Vestibulocerebellum). Seine Efferenzen verlaufen zu den Vestibulariskernen (Nuclei vestibulares medialis und inferior) und zur Formatio reticularis beider Seiten. Die zur Gegenseite ziehenden Fasern kreuzen als Fasciculus uncinator innerhalb des Kleinhirns und ziehen dann durch den Pedunculus cerebellaris inferior (Corpus juxta-restiforme) zu ihren Zielgebieten.

Einige Axone der Purkinje-Zellen des Vermis projizieren direkt (ohne Umschaltung im Nucleus fastigii) auf den Nucleus vestibularis lateralis, der somit die Position eines Kleinhirnkerns einnimmt.

MERKE

Die Purkinjezellen der Kleinhirnrinde projizieren grÖsstenteils zu den Kleinhirnkernen, deren Axone dann das Cerebellum verlassen; d. h. (fast) alle Efferenzen des Kleinhirns haben ihre Ursprungsneurone in einem der Kleinhirnkerne.

6

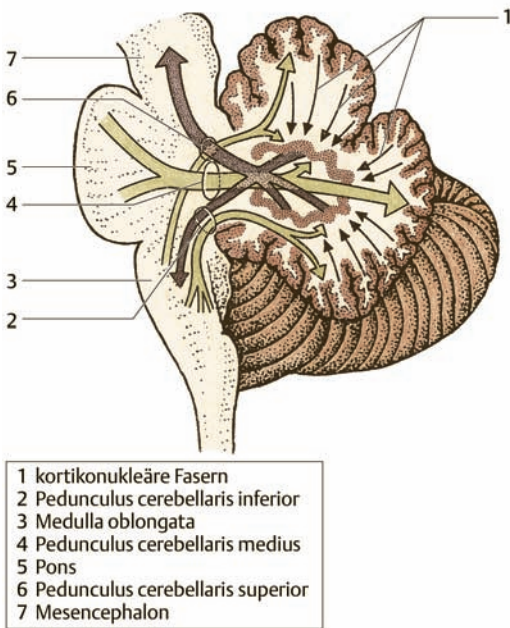


Abb. 6.5 Kleinhirnstiele mit ihren Verbindungen zum Hirnstamm (vgl. Tab. 6.2)

6.3.3 Die Kleinhirnstiele (Pedunculi cerebellares)

Die zahlreichen Afferenzen und Efferenzen des Kleinhirns, die seine modulierende Funktion innerhalb eines Bewegungsablaufs ermöglichen, verlaufen beidseits in den drei Kleinhirnstielen (Abb. 6.5 und Tab. 6.2). Diese sind auf der anterioren Seite des Kleinhirns eine Fortsetzung seiner weissen Substanz und verbinden das Kleinhirn mit dem Hirnstamm:

- **Pedunculus cerebellaris superior:** Verbindung zum Mesencephalon
- **Pedunculus cerebellaris medius:** am weitesten lateral gelegene kräftige Verbindung zum Pons
- **Pedunculus cerebellaris inferior:** Verbindung zur Medulla oblongata.

 An der Höhenlokalisation der mit dem Kleinhirn verbundenen Hirnstammstrukturen können Sie sich ableiten, durch welchen Kleinhirnstiel die jeweilige Faserverbindung zieht. Die einzige Ausnahme von dieser Faustregel ist der Tractus spinocerebellaris anterior, der über den oberen Kleinhirnstiel zieht, obwohl er von kaudal aus dem Rückenmark kommt.

Machen Sie sich zu den in Tab. 6.2 aufgeführten Afferenzen klar, dass sie die Kleinhirnrinde erreichen

- als Kletterfasern (aus der unteren Olive über den Tractus olivocerebellaris) oder
- als Moosfasern (über die anderen in Tab. 6.2 genannten Faserbündel).

Tabelle 6.2

Kleinhirnstiele mit durchziehenden Bahnen		
Kleinhirnstiel	zerebelläre Afferenzen	zerebelläre Efferenzen
oberer (Pedunculus cerebellaris superior)	nur Tractus spinocerebellaris anterior*	Tractus cerebellothalamicus zum kontralateralen Thalamus Tractus cerebellorubralis zum kontralateralen Nucleus ruber
mittlerer (Pedunculus cerebellaris medius)	Fibrae pontocerebellares (Tractus pontocerebellaris)	keine
unterer (Pedunculus cerebellaris inferior)	Tractus spinocerebellaris posterior* Tractus vestibulocerebellaris Tractus olivocerebellaris Tractus reticulocerebellaris Fibrae cuneocerebellares (aus Nucleus cuneatus accessorius, s. S. 84)	Tractus fastigiobulbaris (zu Vestibulariskernen)** Tractus cerebelloolivaris Tractus cerebelloreticularis**

*Durch die starke Entwicklung des Pontocerebellum und des mittleren Kleinhirnstiels während der Phylogenese wurden die ursprünglich zusammenhängenden spinocerebellären Bahnen auseinander gedrängt (Tractus spinocerebellares anterior und posterior).

**Gekreuzte Fasern aus dem Nucleus fastigii zu Vestibulariskernen und zur Formatio reticularis werden auch als Fasciculus uncinatus cerebelli bezeichnet.

MERKE

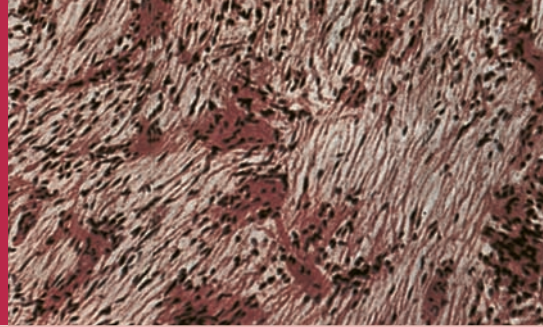
- Der Hauptteil der zerebellären Efferenzen verläuft im Pedunculus cerebellaris *superior* und kreuzt im Mittelhirn zur Gegenseite.
- Der Pedunculus cerebellaris *medius* führt nur zerebelläre Afferenzen aus dem *Pons*.
- Der Pedunculus cerebellaris *inferior* enthält verschiedene afferente und efferente Bahnen als Verbindung zu den Vestibulariskernen und kaudal des *Pons* gelegenen Strukturen (z. B. Tractus spinocerebellaris posterior, Tractus olivocerebellaris).
- Nur der ebenfalls von kaudal aus dem Rückenmark kommende Tractus spinocerebellaris anterior zieht nicht über den unteren, sondern den oberen Kleinhirnstiel.

Wie aus dem Namen der jeweiligen Bahnen in **Tab. 6.2** ersichtlich, verlaufen die Efferenzen des Kleinhirns u.a. über die *Formatio reticularis*, den *Nucleus ruber* und den *Nucleus vestibularis lateralis* zum Rückenmark.

**Check-up**

- ✓ Besonders beliebte Prüfungsthemen sind die Kleinhirnrinde und die Kleinhirnstiele. Rekapitulieren Sie hierzu insbesondere
 - wo die zerebellären Afferenzen (Moos- und Kletterfasern) jeweils enden
 - welche Interneurone und Fasern auf die Purkinje-Zellen wirken
 - welche Bahnen über welchen Kleinhirnstiel das Cerebellum erreichen bzw. verlassen.
- ✓ Machen Sie sich klar, über welche extrazerebellären Kerne die Efferenzen des Kleinhirns zum Rückenmark gelangen.
- ✓ Überlegen Sie, warum der Tractus spinocerebellaris anterior (nicht aber posterior) durch den *Pons* verläuft.

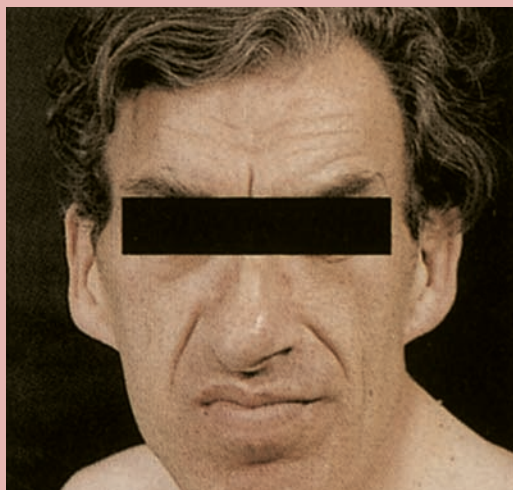
Kapitel 7



Zwischenhirn (Diencephalon)

- 7.1 Der Überblick und die Oberfläche 129
- 7.2 Der Thalamus und der Metathalamus 130
- 7.3 Der Hypothalamus und die Hypophyse 134
- 7.4 Der Epithalamus 140

Hormonüberschuss im Gehirn



Typisches Erscheinungsbild eines Patienten mit Akromegalie.

Die Hypophyse ist ein zweiteiliges Organ. Sie gliedert sich in die Neurohypophyse, eine Ausstülpung des Zwischenhirns, und die Adenohypophyse, eine endokrine Drüse. Die Adenohypophyse produziert das Wachstums- oder somatotrope Hormon (STH), das Prolaktin, Gonadotropine und das adrenokortikotrope Hormon (ACTH). Gutartige Tumoren der Adenohypophyse (Hypophysenadenome) können zu einem Überschuss eines oder mehrerer dieser Hormone im Körper führen.

Schwäche und Schmerzen in den Händen

„Oh je, das gibt's doch nicht!“, flucht der Bäckermeister Lukas K. Gerade eben fiel ihm das Blech mit dem Spritzgebäck aus der Hand – und das ist nicht zum ersten Mal. Schon seit mehreren Monaten hat der 50-Jährige Schwierigkeiten, schwere Gegenstände zu halten. Auch quälen ihn seit einigen Wochen nächtliche Schmerzen in beiden Handgelenken. Lukas K. vermutet, dass diese Schmerzen und die Greifschwäche miteinander zusammenhängen.

Nervus medianus eingeklemmt

Als der Bäckermeister wegen seiner Probleme den Hausarzt aufsucht, diagnostiziert dieser bei dem Patienten ein beidseitiges Karpaltunnelsyndrom. „Im Handgelenk verläuft ein Nerv, der Nervus medianus. Wird er durch Veränderungen im Bindegewebe oder durch Knochenveränderungen eingeeengt, treten häufig Muskelschwäche und Schmerzen in den Händen auf“, erklärt der Arzt seinem Patienten. Durch eine

Operation könnte der Nerv im Karpaltunnel entlastet werden. Allerdings kommt sein langjähriger Patient Herrn Dr. Fritsche auch sonst verändert vor: Seine großen, wulstig wirkenden Finger waren ihm bei der Untersuchung sofort aufgefallen. Außerdem ist sich der erfahrene Allgemeinmediziner sicher, dass der zuvor nie ernsthaft kranke Mann bei seinem letzten Besuch in der Praxis anders ausgesehen hatte. Die seitdem verstrichene Zeit reicht dem Arzt nicht als Erklärung für die auf einmal grob erscheinenden Gesichtszüge mit der auffällig großen Nase und den dicken Lippen.

Zu kleine Schuhe

„Haben Sie in letzter Zeit irgendwelche Veränderungen in Ihrem Alltag bemerkt?“, ergänzt Dr. Fritsche seine Anamnese. Lukas K. denkt scharf nach. Obwohl es ihm belanglos erscheint, berichtet er, dass ihm seine Baskenmütze aus irgendwelchen Gründen nicht mehr richtig passt. Auch seine Schuhe erscheinen ihm „irgendwie kleiner“. Er musste sich kürzlich ein neues Paar kaufen, weil die alten Schuhe drückten. „Ich glaube, dass wir noch ein paar Untersuchungen benötigen“, sagt der Arzt zu seinem Patienten. Er nimmt Blut für eine eingehende endokrinologische Diagnostik ab und schickt Herrn K. zum Radiologen, um ein MRT des Kopfes anfertigen zu lassen.

Seine Vermutung ist, dass hinter den Symptomen von Herrn K. ein Hypophysenadenom steckt: Ein gutartiger Tumor im Hypophysenvorderlappen, der das Wachstumshormon (STH) im Überschuss produziert. Es bewirkt bei Erwachsenen u. a. das Wachstum von Knochen, Knorpel und Bindegewebe im Bereich der Akren (Akromegalie). Die beidseitigen Beschwerden in den Händen ließen sich durch eine Bindegewebsvermehrung im Karpaltunnel mit Kompression des Nervus medianus gut erklären.

Überraschung für den Patienten: Operation am Kopf

Als Dr. Fritsche bei Wiedervorstellung des Patienten dessen MRT-Aufnahmen begutachtet, bestätigen sie seine Diagnose: Im Bereich der Sella turcica des Keilbeinkörpers sieht man eine runde, gut abgegrenzte Raumforderung der Hypophyse. Auch die Erhöhung des STH-Werts und zugehöriger peripherer Marker sprechen für die Akromegalie. Nachdem Dr. Fritsche seinem verdutzten Patienten erklärt hat, was die Untersuchungen ergeben haben, überweist er ihn in die Neurochirurgie. Dort wird die Entscheidung getroffen, das gut operable Hypophysenadenom zu entfernen.

7 Zwischenhirn (Diencephalon)

7.1 Der Überblick und die Oberfläche

7.1.1 Die Anteile des Zwischenhirns

Zum Zwischenhirn gehören der Thalamus (mit dem Metathalamus), der Hypothalamus (mit der Hypophyse) und der Epithalamus. Alle drei bestehen aus zahlreichen Kernen, die sehr unterschiedliche Funktionen erfüllen. Dabei ist der Thalamus der größte Kernkomplex des Zwischenhirns.



Die verschiedenen Anteile des Zwischenhirns gehören zu sehr unterschiedlichen Systemen. Um sich dies besser einzuprägen, ordnen Sie beim Lesen dieses Kapitels die anatomischen Strukturen immer direkt einer Funktion zu.

7.1.2 Die Ansicht des Zwischenhirns von medial und basal

Das Zwischenhirn schließt sich nach oben ohne deutliche Grenze dem Mittelhirn an. Es begrenzt beidseits den III. Ventrikel (s. S. 175), sodass nach dessen Eröffnung durch einen Medianschnitt die Oberfläche des Zwischenhirns sichtbar wird (Abb. 7.1).

Der Hypothalamus bildet den Boden und die unteren Abschnitte der Seitenwand des Ventrikels. Vorne werden Hypothalamus und III. Ventrikel durch

die **Lamina terminalis** mit der **Commissura anterior** begrenzt.

Oberhalb des Hypothalamus liegt der Thalamus. Zwischen diesen beiden Zwischenhirnanteilen liegt der **Sulcus hypothalamicus**. Diese Furche verläuft vom Foramen interventriculare zum Aqueductus mesencephali (s. S. 174). Das Foramen interventriculare wird nach vorne durch den Fornix, nach hinten durch das vordere Ende des Thalamus begrenzt. Der Fornix steigt bogenförmig über den Thalamus.

Im Dach des III. Ventrikels liegt, unterhalb des Fornix, die dünne **Tela choroidea ventriculi tertii** (befestigt an der **Taenia thalami** = Abrisslinie nach Entfernung der Tela an der Thalamusoberfläche). Die beiden Thalami sind meist (70–80 %) durch eine **Adhesio interthalamica** miteinander verbunden. Die Adhesio enthält keine Faserbahnen, sondern besteht vornehmlich aus Gliazellen. Die hintere Begrenzung des dritten Ventrikels ist die **Commissura posterior**, die **Commissura habenularum** sowie die **Epiphyse**.

Nur ein Teil der **basalen Oberfläche** des Diencephalon ist an der Unterseite des Gehirns zu erkennen. Zwischen **Chiasma opticum**, **Tractus opticus** und den beiden Hirnschenkeln liegen (als Teile des Hypothalamus) das **Infundibulum** (Hypophysenstiel) mit dem **Tuber cinereum** als Verdickung in seiner Rückwand und die paarigen rundlichen **Corpora mammillaria**.

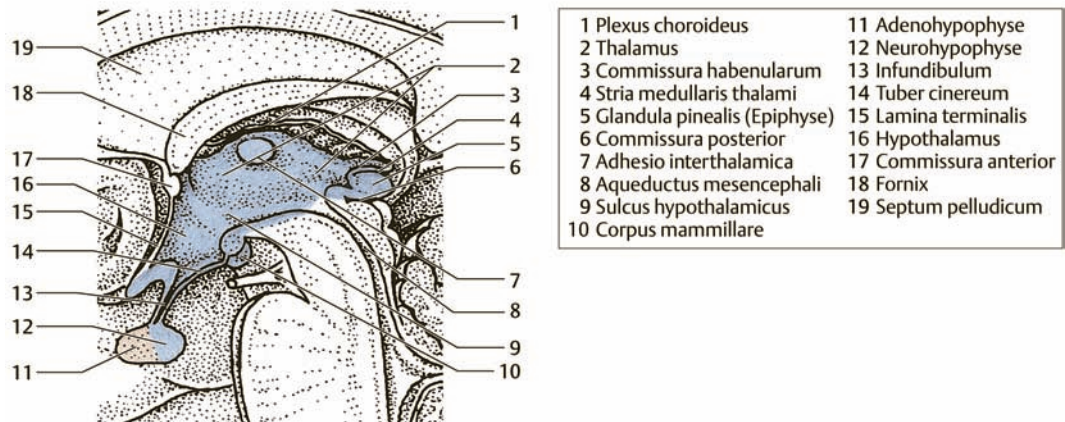


Abb. 7.1 Das Diencephalon (blau hervorgehoben) mit seinen topographischen Beziehungen in der Ansicht von medial an einem Mediansagittalschnitt

7.2 Der Thalamus und der Metathalamus



Lerncoach

Die Signale aus allen Sinnessystemen, außer dem olfaktorischen, werden im Thalamus/ Metathalamus umgeschaltet und können hier auch modifiziert werden, bevor sie zur Endhirnrinde weitergeleitet werden (Thalamus = Tor zum Bewusstsein). Motorische Kerne des Thalamus erregen den motorischen Kortex. Andere Thalamuskern gehören zum limbischen System oder zum aufsteigenden Wecksystem.

Machen Sie sich in diesem Kapitel erst einmal mit der Einteilung und Zugehörigkeit der verschiedenen thalamischen Kernkomplexe zu unterschiedlichen funktionellen Systemen vertraut. Dies erleichtert Ihnen im Kapitel 11 (S. 199) die Einordnung einzelner Thalamuskern als Schaltstation innerhalb des jeweiligen funktionellen Systems, in das sie eingebunden sind.

7.2.1 Die Einteilung und die Verbindungen der Thalamuskern

7.2.1.1 Die morphologische Gliederung

Der Thalamus, der den größten Teil des Zwischenhirns einnimmt, hat eine bohnen- bis eiförmige Gestalt. Er besteht aus zahlreichen Kernen (Abb. 7.2) mit unterschiedlichen Funktionen. Zwischen den Kernen verlaufen intrathalamische Marklamellen (Abb. 7.3, s. S. 133).

Die Marklamellen verlaufen hauptsächlich parallel zueinander von anterior nach posterior. Die **Lamina medullaris lateralis** erstreckt sich an der Lateralfläche des Thalamus. Die **Lamina medullaris medialis** verläuft innerhalb des Thalamus und teilt sich vorne y-förmig auf (besonders auf Horizontalschnitten erkennbar). Dadurch wird der Thalamus in drei Territorien (Kerngruppen) gegliedert:

- vordere Kerne (in der Aufgabelung der Lamina medullaris medialis): **Nuclei anteriores**
- Kerne medial der Lamina: **Nuclei mediales** und **mediani**
- Kerne lateral der Lamina: **Nuclei ventrales, dorsales** und **posteriores**.

Zudem finden sich auch innerhalb der Lamina medullaris medialis Kerne (**Nuclei intralaminares**).

Zum **Thalamus dorsalis** gehören die allermeisten Thalamuskern. Lediglich der Nucleus reticularis, die Zona incerta und der Nucleus subthalamicus werden als **Thalamus ventralis** zusammengefasst (s. S. 133).

Die oberhalb des Nucleus subthalamicus gelegene Zona incerta enthält zahlreiche dopaminerge Neurone und wird häufig als (obere) der Formatio reticularis aufgefasst. Häufig wird der Nucleus subthalamicus als *eigenständiger Abschnitt* des Zwischenhirns beschrieben, was seine funktionelle Bedeutung im Rahmen der Verschaltung der Basalganglien unterstreicht (s. S. 159).

7.2.1.2 Die funktionelle Gliederung

Als **spezifische Thalamuskern**, auch **Palliothalamus** genannt, bezeichnet man solche Kerne, die mit einem bestimmten Bezirk der Hirnrinde (reziprok) verbunden sind (z. B. Nuclei anteriores – limbischer Gyrus cinguli; Nucleus ventralis lateralis – motorische Präzentralregion; Nucleus ventralis posterior – sensible Postzentralregion; Corpus geniculatum laterale – Sehrinde).

Unspezifische Thalamuskern, auch **Truncothalamus** genannt, aktivieren über polysynaptische Verbindungen nicht scharf begrenzte Areale der Endhirnrinde (also keine genaue Zuordnung zu einem spezifischen Kortexareal). Afferenzen erhalten diese Kerne aus anderen Teilen des Zwischenhirns und aus dem Hirnstamm, insbesondere aus der Formatio reticularis. Funktionell gehören sie zum ARAS (s. S. 104). Zu den unspezifischen gehören insbesondere die intralaminären Kerne, z. B. Nucleus centromedianus und auch die Nuclei mediani. Der Begriff „unspezifisch“ ist etwas irreführend, da die Funktion dieser Kerne doch eine spezifische ist (z. B. Weckfunktion).

7.2.1.3 Die Nervenzelltypen im Thalamus

Außer im Nucleus reticularis (s. Tab. 7.1, S. 133) sind im Thalamus zwei Neuronentypen anzutreffen:

- Projektionsneurone: exzitatorisch (Glutamat als Transmitter)
- Interneurone: inhibitorisch (GABA als Transmitter).

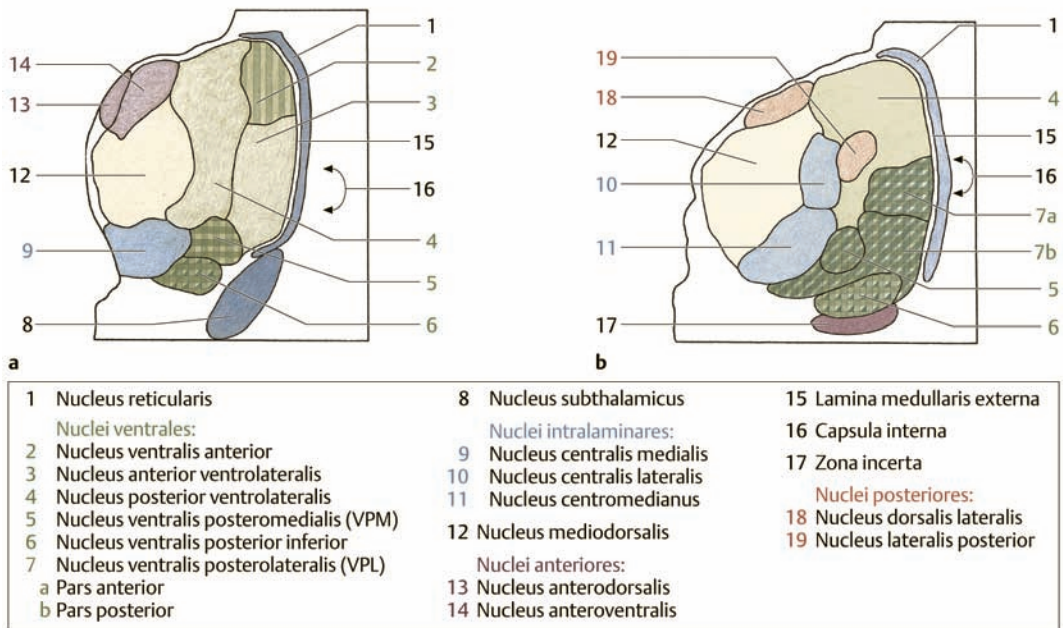


Abb. 7.2 Kerne des Thalamus
Frontalschnitte durch das vordere (a) und durch das mittlere Thalamusdrittel (b)

7.2.1.4 Die Verbindungen der thalamischen Kernkomplexe

Als Umschaltstation sind die verschiedenen Kernkomplexe in Abhängigkeit von ihrer jeweiligen Funktion afferent und efferent mit unterschiedlichen Hirnregionen verbunden (Tab. 7.1 und Abb. 7.3).

Klinischer Bezug

Läsion des Ncl. mediodorsalis: Wird dieser Hauptkern der medialen Gruppe geschädigt (bei einem relativ seltenen Infarkt innerhalb des Thalamus), kommt es insbesondere zu Persönlichkeitsveränderungen (z.B. Gleichgültigkeit, Störungen des sozialen Verhaltens, Aggressivität, Zwangsvorstellungen). Diese Symptome ähneln denen bei Schädigung des präfrontalen Kortex (Frontalhirnsyndrom, z.B. bei M. Pick, s. S. 153), was durch die Verbindung des Ncl. mediodorsalis mit dem präfrontalen Kortex verständlich ist.

MERKE

- Während die Nuclei ventrales anterior und laterales für die Motorik von Bedeutung sind, sind die übrigen Kerne der ventralen Gruppe in sensible

Systeme eingebunden: Empfindungen aus dem Gesichtsbereich werden im Ncl. ventralis postero-medialis (= VPM), solche aus den übrigen Körperregionen im Ncl. ventralis posterolateralis (= VPL) umgeschaltet. Der Ncl. ventralis posterior inferior ist Umschaltstation für nozizeptive Fasern.

- Die Neurone des Nucleus reticularis hemmen die thalamische Informationsverarbeitung.

7.2.2 Der Metathalamus: Corpus geniculatum laterale und Corpus geniculatum mediale

Das Corpus geniculatum laterale (CGL, lateraler Kniehöcker) und das Corpus geniculatum mediale (CGM, medialer Kniehöcker) werden zum Metathalamus zusammengefasst.

Das **Corpus geniculatum laterale** liegt etwas abseits von den übrigen Thalamuskernen lateral an der basalen Oberfläche (grenzt also an den Subarachnoidalraum). Es weist eine Einbuchtung an seiner Oberfläche auf.

Histologisch besteht das Corpus geniculatum laterale aus sechs (kappenartig übereinander gelagerten) Zellschichten, die von basal aus durchnummeriert sind.

Tabelle 7.1

Wichtige Thalamuskern und ihre Hauptverbindungen			
Kerngruppe*	Herkunft der Afferenzen*	Ziel der Efferenzen*	funktionelle Bedeutung
Thalamus dorsalis			
Ncll. anteriores: – Ncl. anterodorsalis – Ncl. anteromedialis – Ncl. anteroventralis	Corpora mamillaria (Tractus mamillothalamicus = Vicq d'Azyr-Bündel)	limbisches System: – Gyrus cinguli – Gyrus parahippocampalis	→ Beteiligung an emotionalem Verhalten und Gedächtnisbildung → Bestandteil des Papez-Neuronenkreises (s. S. 227)
Ncll. mediales: – Nucleus mediodorsalis (Pars magnocellularis medialis und Pars parvocellularis lateralis)	– Corpus amygdaloideum – olfaktorische Kortexareale (v. a. piriformer Kortex, s. S. 220)	anteriore frontale Rindenfelder (präfrontaler Kortex)	→ Verhaltensweisen, intellektuelle Leistungen
Ncll. mediani (Mittellinienkerne): – Ncl. parataenialis – Ncl. reuniens	– Hypothalamus – Formatio reticularis (besonders Locus caeruleus und Raphe-Kerne, Substantia grisea centralis) – Gyrus cinguli	– Corpus amygdaloideum – Hippocampus – Nucleus accumbens – Gyrus cinguli	→ Wachheitszustand, Gedächtnis
Ncll. ventrales – Ncl. ventralis anterior – Ncll. ventrales laterales – Ncl. anterior ventrolateralis – Ncl. posterior ventrolateralis – Ncll. ventrobasales = Ncll. ventrales posteriores – Ncl. ventralis posterolateralis (VPL) – Ncl. ventralis posteromedialis (VPM) – Ncl. ventralis posterior inferior	Substantia nigra (Pars reticularis) Globus pallidus Kleinhirnerne Hirnstamm und Rückenmark: über – Lemniscus medialis – Lemniscus spinalis Hirnstamm (Ncl. principalis und Ncl. spinalis nervi trigemini) über Lemniscus trigeminalis Tractus spinothalamicus	prämotorischer und supplementär motorischer Kortex prämotorischer und primär motorischer Kortex sensible Rindenfelder im Gyrus postcentralis anteriore Inselrinde	funktionell heterogene Gruppe → Verarbeitung von motorischen Impulsen aus den Basalganglien (Pallidum) und assoziierten Kernen (Substantia nigra) sowie aus dem Kleinhirn (s. S. 201 ff) → Umschaltung somatosensibler Impulse aus der Körperperipherie bevor sie – unter Beibehaltung der somatotopischen Ordnung – zu sensiblen Rindenfeldern weitergeleitet werden → Beteiligung an der Schmerzweiterleitung
Ncll. dorsales – Ncll. pulvinare anterior, inferior, lateralis und medialis (Pulvinarkerne; das Pulvinar nimmt etwa das hintere Drittel des Thalamus ein) – Ncl. dorsalis lateralis – Ncl. lateralis posterior	– Nuclei pretectales – Colliculus superior	kortikale Assoziationsgebiete im Parietal-, Okzipital- und Temporallappen	→ Beteiligung innerhalb des visuell-motorischen Systems (z. B. bei Augenbewegungen und zielgerichteten Arm-bewegungen)
Ncll. posteriores (anterior von den Pulvinarkernen, wenig differenziert) – Ncl. posterior – Ncl. limitans	Tractus spinothalamicus	Inselrinde	→ Beteiligung an der Schmerzweiterleitung
Ncll. intralaminare – anteriore Gruppe: – Ncl. centralis lateralis – Ncl. centralis medialis – Ncl. paracentralis – posteriore Gruppe: – Ncl. centromedianus – Ncl. parafascicularis	– efferente und afferente Verbindungen mit funktionell unterschiedlichen Arealen fast des gesamten Kortex (mit Ausnahme auditorischer Areale) – zudem ausgeprägte Efferenzen zum Striatum – Afferenzen kommen noch aus verschiedenen Gebieten des ZNS (z. B. Kleinhirnerne, Rückenmark, Formatio reticularis sowie cholinerge, serotoninerge und noradrenerge Hirnstammkerne) – Afferenzen für den Nucleus centromedianus stammen vor allem aus dem Globus pallidus.		→ Teil des ARAS (Wachheitszustand, Erzeugung von Aufmerksamkeit; s. S. 104) → Teil des motorischen Systems (s. S. 204).

Tabelle 7.1

Wichtige Thalamuskerngruppen und ihre Hauptverbindungen (Fortsetzung)			
Kerngruppe*	Herkunft der Afferenzen*	Ziel der Efferenzen*	funktionelle Bedeutung
Thalamus ventralis			
Ncl. reticularis (schalenförmig an der lateralen Fläche des Thalamus, entlang seiner gesamten antero-posterioren Ausdehnung zwischen Lamina medullaris externa und Capsula interna)	Kollateralen von kortikothalamischen und thalamokortikalen Axonen, die durch den Kern ziehen	Thalamuskerngruppen, von denen sie ihre Afferenzen erhalten	→ Hemmung der thalamischen Informationsverarbeitung
Zona incerta	– verschiedene Kortexareale – Formatio reticularis	– Thalamus** – Hypothalamus	→ vegetative Funktionen
Ncl. subthalamicus	s. S. 159		→ siehe extrapyramidal-motorisches System, S. 200

* Es sind jeweils nur die Hauptkerne einer Gruppe mit den wichtigsten Afferenzen und Efferenzen genannt.
** enthalten auch reziproke Fasern

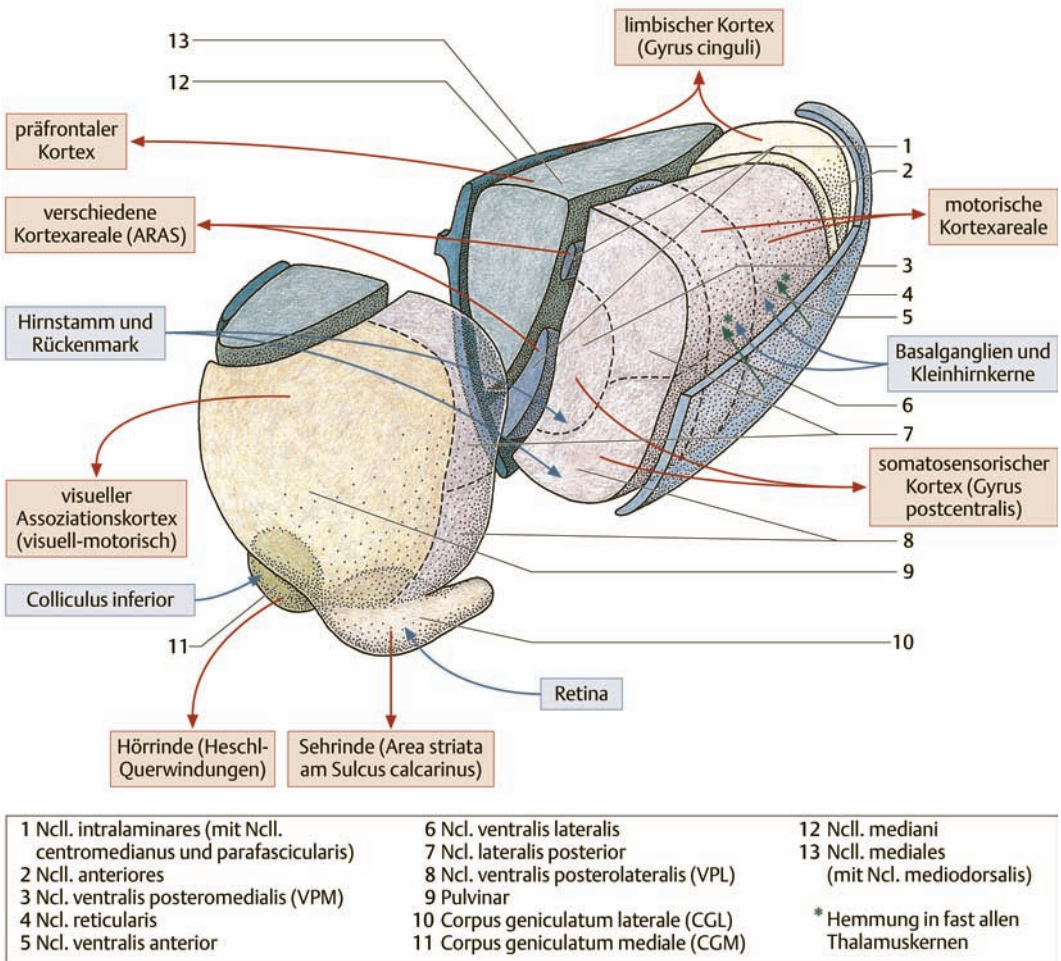


Abb. 7.3 Dreidimensionale Darstellung der Thalamuskerngruppen mit wichtigen Projektionen Ansicht von schräg hinten lateral

riert werden. Die zwei basalen Schichten sind großzellig (magnozellulär) und die vier darüber liegenden kleinzellig (parvozellulär). Zwischen den Zellschichten liegen Faserlamellen, die von den Fasern des Tractus opticus gebildet werden. Die Netzhaut beider Augen projizieren jeweils spezifisch in definierte Schichten (retinotopie Abbildung, s. S. 211).

Außer den Afferenzen aus dem Tractus opticus erhält das Corpus geniculatum laterale Projektionen aus der primären Sehrinde und aus der Formatio reticularis. Die Efferenzen ziehen hauptsächlich zur Sehrinde; einige verlaufen auch zum Colliculus superior.

Im Corpus geniculatum laterale erfolgt nicht nur eine Umschaltung sondern eine Verarbeitung der retinalen Afferenzen (z. B. durch Interneurone). Dabei übt die Projektion aus der Formatio reticularis eine Filterfunktion aus.

Das **Corpus geniculatum mediale** erhält seine Afferenzen aus dem Colliculus inferior (über das Brachium colliculi inferioris). Im Corpus geniculatum mediale erfolgt die Umschaltung auf das letzte Neuron der Hörbahn, das zur Hörrinde im Temporallappen (Gyri transversi) projiziert.

MERKE

Während das Corpus geniculatum *laterale* eine wichtige Schaltstelle innerhalb des *visuellen Systems* darstellt, ist das Corpus geniculatum *mediale* die *diencephale Schaltstation der Hörbahn* (CGM und CGL = spezifische Relaiskerne).



Check-up

- ✓ Wiederholen Sie die wichtigsten Kerngruppen des Thalamus mit ihren Projektionen zur Endhirnrinde und der damit verbundenen funktionellen Bedeutung. Beachten Sie dabei an einzelnen Kernen insbesondere VPL, VPM, Ncl. centromedianus, Ncl. mediodorsalis und die anterioren Thalamuskern.
- ✓ Rekapitulieren Sie, welche Kerngruppe fast zum gesamten Kortex projiziert.
- ✓ Machen Sie sich nochmals klar, zu welchen funktionellen Systemen die beiden Anteile des Metathalamus (CGM und CGL) gehören.

7.3 Der Hypothalamus und die Hypophyse



Lerncoach

Der Hypothalamus dient der Aufrechterhaltung lebenswichtiger Körperfunktionen und der Arterhaltung (Integrationszentrum vegetativer Funktionen). Seine Aufgaben erfüllt er dabei insbesondere durch eine enge Zusammenarbeit mit dem endokrinen System, wobei die Hypophyse (Hirnanhangsdrüse) einen besonderen Stellenwert einnimmt. Konzentrieren Sie sich innerhalb dieses Kapitels auf die Kerne, deren Funktion näher beschrieben ist, und auf die unterschiedlichen Prinzipien, über die der Hypothalamus mit der Hypophyse in Verbindung steht.

7.3.1 Die Kerngebiete des Hypothalamus

Üblicherweise wird der Hypothalamus in anteroposteriorer Richtung in drei Kerngruppen/Regionen unterteilt, die mit ihren wichtigsten Kernen in Tab. 7.2 und Abb. 7.4 dargestellt sind.

Bei den drei Regionen handelt es sich um drei dünne frontale Scheiben durch den Hypothalamus. Auf diesen drei Scheiben lassen sich die hypothalamischen Kerne bzw. Areale weiter gliedern in periventriculäre, mediale und laterale Kerne.

Tabelle 7.2

Wichtige Kerne und Areale des Hypothalamus

Region	Kerne
chiasmatische Region (über dem Chiasma opticum): vordere (rostrale) Kerngruppe	Ncl. supraopticus Ncl. paraventricularis Ncll. preoptici Ncl. suprachiasmaticus Area hypothalamica anterior
tuberale Region (über dem Tuber cinereum): mittlere (intermediäre) Kerngruppe	Ncl. arcuatus = Ncl. infundibularis Ncl. ventromedialis, Ncl. dorsomedialis Ncll. tuberales laterales Ncl. tuberomammillaris Area hypothalamica lateralis
mammilläre Region (im Bereich des Corpus mammillare): hintere (posteriore) Kerngruppe	Ncll. mammillares medialis et lateralis Ncl. tuberomammillaris Area hypothalamica posterior

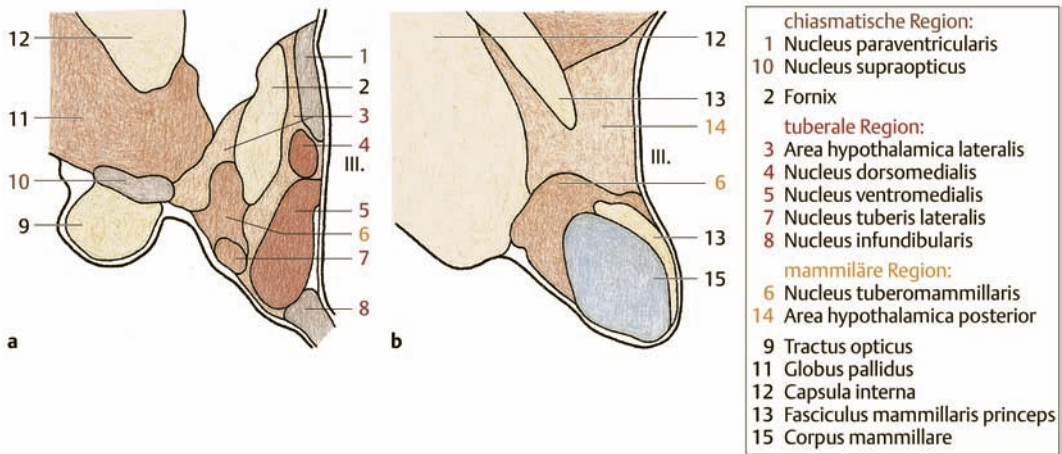


Abb. 7.4 Hypothalamische Kerne und Areale in zwei Frontalschnitten
a tuburale Region, b mammilläre Region

Im Hypothalamus werden neben Kernen auch Areale (**Areale hypothalami**) beschrieben. Die Areale sind im histologischen Schnitt nicht so scharf abgrenzbar wie die Kerne und die Packungsdichte ihrer Neurone ist nur gering.

7.3.2 Die Afferenzen und Efferenzen des Hypothalamus

7.3.2.1 Fasciculus longitudinalis dorsalis (Schütz)

Über den Fasciculus longitudinalis dorsalis (oder posterior) erhält der Hypothalamus als vegetatives Zentrum Afferenzen aus dem Hirnstamm. Ebenfalls laufen über dieses Fasersystem hypothalamische Efferenzen zu vegetativen Zentren im **Hirnstamm** und zum Seitenhorn des **Rückenmarks**. Darüber kann der Hypothalamus diese weiter kaudal gelegenen Strukturen beeinflussen.

7.3.2.2 Tractus mamillothalamicus

Der Tractus mamillothalamicus (**Vicq d' Azyr-Bündel**) verbindet (als präparierbares Faserbündel) das Corpus mammillare des Hypothalamus mit den Nuclei anteriores des Thalamus. Er ist Teil des Papez-Kreises (s. S. 227).

7.3.2.3 Tractus mamillo tegmentalis

Der Tractus mamillo tegmentalis (Gudden) entspringt gemeinsam mit dem Tractus mamillothalamicus aus dem Corpus mammillare. Dann zieht er zum Tegmentum des Mittelhirns (und zur Formatio reticularis).

7.3.2.4 Stria terminalis

Die Stria terminalis zieht vom Corpus amygdaloideum (s. S. 159) im Bogen über dem Thalamus (begleitet von den Vasa thalamostriata superior) zum Hypothalamus.

7.3.2.5 Fornix

Der Fornix, ein makroskopisch gut sichtbares Faserbündel, bringt Fasern aus der Hippokampusformation hauptsächlich zum Corpus mammillare. Er verläuft bogenförmig unter dem Corpus callosum und erreicht in Form der Columna fornicis das Corpus mammillare. Weiteres zum Fornix s. S. 166.

7.3.2.6 Fasciculus medialis telencephali (mediales Vorderhirnbündel)

Das mediale Vorderhirnbündel, eine polysynaptische Faserbahn, verläuft zwischen Stirnhirn (medial und orbital), olfaktorischen kortikalen Arealen, Septumkernen, Hypothalamus und Kernen des Hirnstamms (besonders Formatio reticularis). Diese

Hirngebiete werden durch den Fasciculus reziprok verbunden.

7.3.3 Die Funktionen des Hypothalamus

7.3.3.1 Temperaturregulation

Im vorderen Hypothalamus (besonders in den Nuclei preoptici) liegen thermosensitive Neurone (zentrale Temperaturfühler). Die meisten von diesen sind warm-sensitiv, d. h. sie steigern ihre Feuerrate bei Erwärmung. Die wenigen kalt-sensitiven Neurone werden bei Abkühlung unter den Sollwert aktiviert. Durch endogene (z. B. Prostaglandin E) und exogene (z. B. bakterielle) Substanzen (Pyrogene) wird die Empfindlichkeit der warm-sensitiven Neurone reduziert und der Sollwert der kalt-sensitiven Neurone erhöht. Dabei entsteht Fieber infolge vermehrter Wärmebildung durch Kältezittern (Schüttelfrost) und Minimierung von Wärmeverlusten durch periphere Vasokonstriktion.

Klinischer Bezug

Fiebersenkung durch Acetylsalicylsäure: Die fiebersenkende (antipyretische) Wirkung von Acetylsalicylsäure (Aspirin) erklärt sich dadurch, dass Acetylsalicylsäure die Prostaglandinsynthese hemmt.

7.3.3.2 Regulation der Nahrungsaufnahme

Für die zentrale Regulation der Nahrungsaufnahme spielen peptiderge Neurone, eine wesentliche Rolle, die z. B. im Nucleus arcuatus liegen. Diese Neurone enthalten appetitanregende (z. B. Neuropeptid Y, NPY) oder appetithemmende (z. B. α -MSH) Peptide und besitzen z. B. Leptinrezeptoren.

NPY hemmt im Nucleus paraventricularis die TRH-Produktion ($\rightarrow$ weniger TSH $\rightarrow$ weniger Schilddrüsenhormon im Blut $\rightarrow$ Reduktion des Grundumsatzes) und aktiviert in der Area hypothalamica lateralis Neurone, die (über Verbindungen zum Telencephalon und Hirnstamm) das Hungergefühl und Nahrungsaufnahme fördern.

In entgegengesetzter Wirkung (Steigerung des Grundumsatzes und Hemmung der Nahrungsaufnahme) wirkt **α -MSH**.

Leptin, ein Zytokin aus Adipozyten, gelangt über das Blut (und über die Bluthirnschranke) in den

Nucleus arcuatus. Hier hemmt es die NPY-produzierenden Neurone und aktiviert die α -MSH-produzierenden Neurone. Beide Neuronentypen projizieren zum Nucleus paraventricularis und zur Area hypothalamica lateralis.

Das bedeutet, dass Leptin letztlich über α -MSH-Effekte bei gleichzeitiger Hemmung der NPY-Effekte zu einer Gewichtsabnahme führt.

Eine Rolle bei der Nahrungsaufnahme spielen auch zwei weitere Kerne des Hypothalamus: Nucleus ventromedialis und Nucleus dorsomedialis.

7.3.3.3 Regulation von Schlaf und zirkadianer Rhythmik

An der Regulation der zirkadianen Rhythmik einschließlich des Schlaf-Wach-Rhythmus ist der **Nucleus suprachiasmaticus** ganz wesentlich beteiligt. Seine Neurone besitzen Melatoninrezeptoren, über die sie (durch Melatonin, dem Hormon der Epiphyse, s. S. 140) gehemmt werden. Der Kern erhält Afferenzen aus der Retina (über den Tractus retino-hypothalamicus).

Die Neurone des Nucleus suprachiasmaticus zeigen rhythmische Veränderungen in ihrer Aktivität (endogener periodischer Rhythmus). Die endogene zirkadiane Periodik (innere Uhr) beträgt 24 bis 25 Stunden (bei völliger Isolierung von der Umwelt). Über die Afferenzen aus der Retina (d. h. letztendlich durch Licht) wird diese Rhythmik auf die genaue 24-Stunden-Periodik synchronisiert.

Der Nucleus suprachiasmaticus projiziert zum **Nucleus paraventricularis**, der Efferenzen zum Nucleus intermediolateralis des oberen thorakalen Rückenmarks hat. Die Axone dieses Kerns werden im Ganglion cervicale superius umgeschaltet. Die postganglionären Fasern erreichen schließlich die Epiphyse, die während der Nacht Melatonin ausschüttet. Melatonin gelangt auf dem Blutweg zum Nucleus suprachiasmaticus und hemmt ihn (Rückkopplung).

In der **Area hypothalamica lateralis** (des anterioren Hypothalamus) liegen Neurone, die eine deutliche Aktivitätssteigerung während des Schlafs zeigen und auch vom Nucleus suprachiasmaticus innerviert werden. Diese Neurone hemmen aktivitätssteigernde Kerne wie Locus caeruleus, Nuclei raphe oder Nucleus tuberomammillaris (s. u.).

In der Area hypothalamica lateralis gibt es auch Neurone, die im Wachzustand stark aktiv sind. Sie

wirken exzitatorisch auf den Locus coeruleus und den Nucleus tuberomammillaris.

Der **Nucleus tuberomammillaris** ist ein ausgedehntes Kerngebiet aus großen Neuronen, die u.a. Histamin und GABA enthalten. Er projiziert u.a. zum telencephalen Kortex und bewirkt eine Aufmerksamkeitssteigerung („arousal“).

MERKE

Der Nucleus tuberomammillaris ist der einzige Kern im ZNS, dessen Transmitter Histamin ist. Letzteres bewirkt im Kortex eine Aufmerksamkeitssteigerung.

Klinischer Bezug

Antihistaminika: Medikamente mit antihistaminergem Wirkung, die z.B. bei allergischen Erkrankungen wie Heuschnupfen eingesetzt werden, können zu ausgeprägter Müdigkeit führen (sedierende Wirkung durch Hemmung der Histamin-vermittelten Aufmerksamkeitssteigerung im ZNS).

7.3.3.4 Beteiligung am limbischen System

Das **Corpus mammillare** (mit Nuclei mammillares medialis und lateralis, hauptsächlich glutamaterg) ist ein Bestandteil des limbischen Systems, das wesentlich an Gedächtnisprozessen beteiligt ist. Über seine Verbindungen, Fornix und Tractus mamillo-thalamicus, ist es in den Papez-Kreis eingeschaltet (s. S. 227).

Klinischer Bezug

Korsakow-Syndrom: Infolge eines chronischen Alkoholabusus kann es zu einer toxischen Läsion des Corpus mammillare kommen: Durch Glia- und Gefäßproliferationen entstehen Blutungen und eine spongiöse Gewebsauflockerung. Klinisch treten dabei Gedächtnisstörungen, Desorientiertheit und Konfabulationen auf. Bei Letzteren handelt es sich um Überspielung der Gedächtnislücken durch Erzählen zufälliger Einfälle ohne Bezug zur Situation.

7.3.3.5 Regulation des Wasserhaushalts und des Blutdrucks



Zum besseren Verständnis rekapitulieren Sie an dieser Stelle das Renin-Angiotensin-Aldosteron-System (RAAS), das in diesem Zusammenhang auch von Bedeutung ist: Eine Hypovolämie aktiviert das RAAS. Dabei entsteht Angiotensin II, das sowohl eine Gefäßverengung bewirkt als auch die Aldosteron-Sekretion in der Nebennierenrinde stimuliert (→ erniedrigte Wasserausscheidung über die Nieren). Beides führt zur Erhöhung des Blutdrucks (s. Lehrbücher der Physiologie).

Neurone z.B. in der Area hypothalamica anterior haben Angiotensin-II-Rezeptoren oder Osmorezeptoren (→ Registrierung von Abweichungen der Blutplasma-Osmolalität) oder erhalten indirekt (über die Kerne des N. glossopharyngeus und N. vagus) Informationen aus z.B. Dehnungsrezeptoren des Sinus carotici. Diese Neurone projizieren dann zum Nucleus supraopticus und Nucleus paraventricularis (→ ADH → verringerte Wasserausscheidung über die Niere) sowie zu den Nuclei intermediolaterales und parasympathici sacrales (→ Gefäßverengung). Beides führt zu einer Blutdruck-erhöhung und wirkt damit synergistisch zum RAAS. Auch die Stimulation von Angiotensin-II-Rezeptoren im Organum subfornicale löst über den Ncl. preopticus als Relais-Station einen ähnlichen Mechanismus zur Regulation des Wasserhaushalts aus.

7.3.4 Das Zusammenspiel von Hypothalamus und Hypophyse

Einige hormonproduzierende Kerne des Hypothalamus stehen in enger Beziehung zur Hypophyse (Hirnanhangsdrüse). Hinsichtlich dieser Verbindungen gilt es, zwei grundsätzlich unterschiedliche Mechanismen zu unterscheiden (**Abb. 7.5**):

- Die großzelligen neurosekretorischen Neurone der **Nuclei supraopticus** und **paraventricularis** sind mit dem **Hypophysenhinterlappen** (= Neurohypophyse) verbunden. Die beiden im Nucleus supraopticus und Nucleus paraventricularis gebildeten Hormone (ADH und Oxytocin, s.u.)

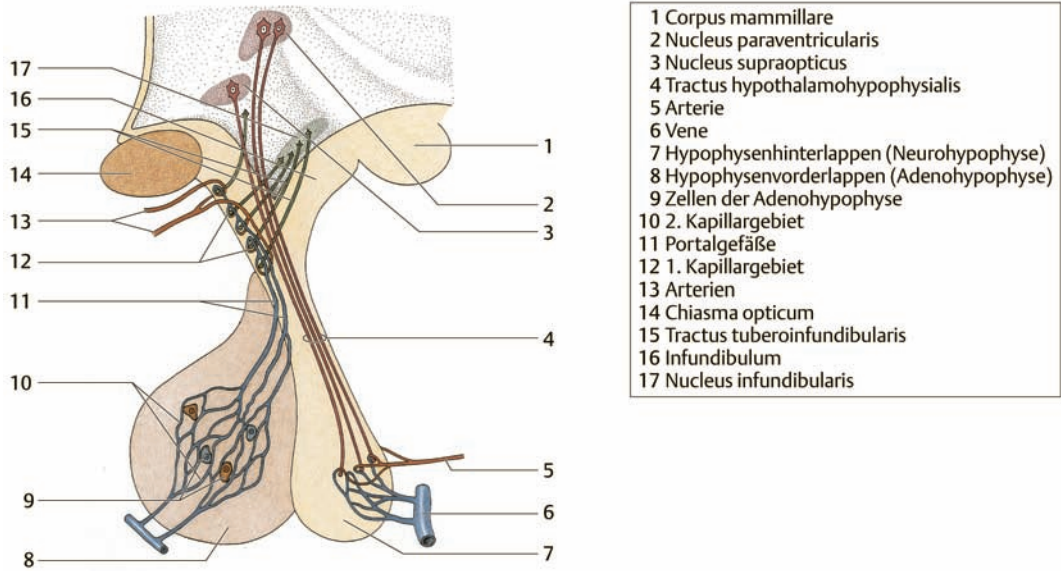


Abb. 7.5 Hypothalamus-Hypophysen-System

gelangen über axonalen Transport zum Hypophysenhinterlappen, wo sie in die Blutbahn freigesetzt werden und zu ihren jeweiligen Wirkorten in der Peripherie gelangen.

- Die kleinzelligen Kerngebiete des Hypothalamus (u.a. **Nucleus infundibularis**, s.u.) produzieren sog. Steuerhormone. Diese gelangen nach Freisetzung im Bereich des Hypophysenstiels über den Blutweg zu endokrinen Zellen des **Hypophysenvorderlappens** (= Adenohypophyse). Hier bewirken sie eine vermehrte oder verminderte Freisetzung der Hypophysenvorderlappenhormone, die wiederum verschiedene Effekte in der Peripherie haben.

7.3.4.1 Nucleus supraopticus und Nucleus paraventricularis

Der Nucleus supraopticus liegt oberhalb des Chiasma opticum und des Tractus opticus. Der Nucleus paraventricularis ist eine Nervenzellplatte, die parallel zur Ventrikeloberfläche ausgerichtet ist. In beiden Kernen liegen **magnozelluläre Neurone**, die **Oxytocin** (→ Uteruskontraktion unter der Geburt und Milchsekretion) oder **antidiuretisches Hormon**

= **ADH, Vasopressin** → Blutdruckerhöhung, s.o.) bilden.

Die Axone dieser Nervenzellen ziehen als **Tractus hypothalamohypophysialis** über das Infundibulum in den Hinterlappen der Hypophyse und enden dort in der Umgebung ausgedehnter Kapillargebiete mit fenestriertem Endothel. Oxytocin und ADH, die an das Trägerprotein Neurophysin gebunden sind, gelangen so mittels axonalem Transport in den Hypophysenhinterlappen und werden hier in das Blut abgegeben.

Afferenzen zu den neurosekretorischen Nuclei supraopticus und paraventricularis stammen u.a. aus den Nuclei preoptici und der Area hypothalamica lateralis, deren Neurone osmosensitiv sind. Über diese Afferenzen und über eigene Messeinrichtungen erhalten die magnozellulären Neurone Information über den Flüssigkeits- und Elektrolythaushalt des Körpers (→ Regulation der ADH-Ausschüttung, s.o.).

Der Nucleus paraventricularis ist zudem in die Steuerung der zirkadianen Rhythmik (s. S. 136) eingebunden.

Klinischer Bezug

Zentraler Diabetes insipidus: Bei einer Läsion des Nucleus supraopticus und/oder Nucleus paraventricularis kommt es durch fehlendes ADH zur massiv vermehrten Ausscheidung von gering konzentriertem Urin über die Nieren.

7.3.4.2 Nucleus infundibularis (= Nucleus arcuatus)

In der tuberalen Region ist die Schicht der periventriculären Neurone zum Nucleus infundibularis (oder Nucleus arcuatus) verbreitert. Die zahlreichen kleinen Neurone dieses Kerns gehören zum **parvozellulären neuroendokrinen System**. Sie bilden die **Steuerhormone**, die wiederum Einfluss auf die Freisetzung von Hypophysenvorderlappenhormonen (s. S. 140) haben, indem sie ihre Ausschüttung fördern (Releasing-Hormone) oder hemmen (Release-inhibiting-Hormone; zu Details siehe Lehrbücher der Biochemie und Physiologie): GnRH (Gonadotropin releasing hormon), CRH (Corticotropin releasing hormone), TRH (Tyreotropin releasing hormone), GHRH (Growth hormone releasing hormone), SRIF (Somatotropin release inhibiting factor), MRF (Melanotropin releasing factor), MIF (Melanotropin release inhibiting factor), PRF (Prolactin releasing factor), PIF (Prolactin release inhibiting factor = Dopamin).

CRH und TRH werden auch in kleinen Zellen des Nucleus paraventricularis gebildet.

Die Axone der Infundibularis-Neurone verlaufen als kurzer **Tractus tuberoinfundibularis** zum Tuber cinereum und zur Eminentia mediana (mediane leichte Vorwölbung am Tuber cinereum). Dort enden sie an Kapillarschlingen und geben die Steuerhormone an das Blut ab. Die Kapillaren münden in kleine Venen, die zur Adenohypophyse ziehen und hier ein zweites Kapillargebiet bilden. In Anlehnung an die vergleichbare Gefäßsituation des Portalvenensystems im Abdomen (1. Kapillarbett im Darm, 2. Kapillarbett in der Leber) bezeichnet man diese Anordnung als **hypophysäres Pfortadersystem**. Darüber gelangen die hypothalamischen Steuerhormone an die endokrinen Zellen der Adenohypophyse und bewirken eine vermehrte (**Releasing-Hormone/Liberine**) oder verminderte (**Release-inhi-**

biting-Hormone/Statine) Freisetzung der Hypophysenvorderlappenhormone.

Afferenzen erhält der Nucleus infundibularis aus hypothalamischen Kernen (z. B. Area hypothalamica lateralis) und aus dem limbischen System.

MERKE

Die Nuclei supraopticus und paraventricularis sowie der Nucleus infundibularis stellen wichtige Schaltstellen zwischen endokrinem und neuronalem System dar.

7.3.5 Die Hypophyse

7.3.5.1 Die Lage der Hypophyse

Die Hypophyse (Glandula pituitaria, Hirnanhangsdrüse) wiegt nur etwa 0,6–0,8 g und liegt in der Fossa hypophysialis der Sella turcica vom Keilbeinkörper.

Durch diese Lage steht sie in enger räumlicher Beziehung zum Sinus cavernosus (seitlich), Sinus sphenoidalis (kaudal) und Chiasma opticum (vorne). Von der mittleren Schädelgrube ist die Sella turcica durch das Diaphragma sellae (Durablatt, s. S. 171) abgetrennt.

7.3.5.2 Die Gliederung der Hypophyse

Unter funktionellen und entwicklungsgeschichtlichen Gesichtspunkten gliedert sich die Hypophyse in zwei grundlegend unterschiedliche Anteile:

- Neurohypophyse als Teil des Zwischenhirns und
- Adenohypophyse, die streng genommen nicht zum ZNS zählt, sondern eine endokrine Drüse ist.

Die **Neurohypophyse (Hypophysenhinterlappen)** besteht aus dem **Infundibulum** (Hypophysenstiel) und dem **Lobus nervosus** oder Pars nervosa (die manchmal auch als Hypophysenhinterlappen im engeren Sinne bezeichnet wird). Letzterer ist über das Infundibulum direkt mit dem Hypothalamus verbunden; somit stellt das Infundibulum eine trichterförmige Fortsetzung des Zwischenhirnbodens dar. Es enthält den Tractus hypothalamohypophysealis, dessen (marklose) Axone im Lobus nervosus enden und dort von Gefäßen und Gliazellen (Pituizyten) umgeben sind.

MERKE

Das Infundibulum durchbohrt das Diaphragma sellae und liegt hinter dem Chiasma opticum.

Die **Adenohypophyse** (Hypophysenvorderlappen) gliedert sich in

- **Pars tuberalis** (umfasst das Infundibulum)
- **Pars distalis** (größter Teil der Hypophyse)
- **Pars intermedia** (Zwischenlappen, zwischen Pars distalis und Lobus nervosus der Neurohypophyse).

Der Hypophysenvorderlappen ist eine endokrine Drüse mit azidophilen, basophilen und chromophoben Zellen. Hier gebildete sog. **glandotrope Hormone** wirken ihrerseits auf verschiedene Drüsen (z.B. Adrenokortikotropes Hormon = ACTH → Zona fasciculata der Nebennierenrinde: Glukokortikoidsynthese; thyroideastimulierendes Hormon = TSH → Schilddrüsenhormonsynthese; Gonadotropine als follikelstimulierendes Hormon = FSH und luteinisierendes Hormon = LH → Keimdrüsen: u.a. Zyklusregulation; Prolaktin → Brustdrüse: Milchbildung).

**Check-up**

- ✓ **Wiederholen Sie, welche hypothalamischen Anteile im Wesentlichen für die Temperaturregulation von Bedeutung sind und welcher Kern eine Rolle im Rahmen zirkadianer Rhythmen eine Rolle spielt.**
- ✓ **Rekapitulieren Sie, welche hypothalamischen Neuropeptide an der Regulation des Hungergefühls beteiligt sind und woher das an diesen Zellen wirkende Leptin kommt.**
- ✓ **Wiederholen Sie, welcher Transmitter in Neuronen des Nucleus tuberomammillaris vorkommt und was er bewirkt.**
- ✓ **Machen Sie sich nochmals klar, wo Releasing-Hormone und wo Vasopressin und Oxytocin gebildet werden.**

7.4 Der Epithalamus**Lerncoach**

In diesem kleinen Kapitel lernen Sie u. a. die Zirbeldrüse kennen, in der sich im Laufe des Lebens „Hirnsand“ (Aceruleus) einlagert. Diese Kalkkonkremente sind dann im Röntgenbild erkennbar.

7.4.1 Die Anteile des Epithalamus

Der Epithalamus liegt in der hinteren Wand des III. Ventrikels; er sitzt dem Thalamus hinten auf. Zum Epithalamus gehören:

- **Epiphyse** (Glandula pinealis, Corpus pineale, Pinealorgan, Zirbeldrüse)
- **Habenulae** (Zügel) mit Nuclei habenulares, Commissura habenularum und Stria medullaris
- **Commissura posterior**
- **Area pretectalis.**

7.4.2 Die Epiphyse

Die Epiphyse liegt wie ein kleiner Pinienzapfen der Vierhügelplatte des Mittelhirns auf. Sie ist während der Phylogenese von einem augenähnlichen Sinnesorgan zu einer endokrinen Drüse geworden. Histologisch besteht die Epiphyse aus Pinealozyten (= modifizierte Photorezeptorzellen), die das Hormon **Melatonin** ins Blut sezernieren und Nervenfasern, die hauptsächlich aus dem Ganglion cervicale superius stammen.

Die Ausschüttung des Melatonins ist lichtabhängig; sie erfolgt während der Nacht (s. Nucleus supra-chiasmaticus, S.136). Melatonin hemmt die Ausschüttung von Gonadotropinen (auf die Keimdrüsen wirkende Hormone des Hypophysenvorderlappens) und beeinflusst die zirkadiane und saisonale Rhythmik.

7.4.3 Die Habenula, Nuclei habenulares, Commissura habenularum und Stria medullaris

Die **Stria medullaris** enthält Fasern aus den Nuclei septales des Endhirns, Nuclei preoptici und aus dem Corpus amygdaloideum. Sie zieht als weißer Markstreifen über die mediodorsale Thalamusfläche und bildet beidseits die **Habenula**, die sich vereinigen und in die Glandula pinealis fortsetzen. Am

Übergang von Stria medullaris zur Habenula findet sich das Trigonum habenulae, in dem die **Nuclei habenulares** medialis und lateralis liegen.

Die Nuclei habenulares erhalten ihre Afferenzen aus der Stria medullaris. Die Efferenzen ziehen über die **Commissura habenularum** zur Gegenseite und über den Tractus habenulointerpeduncularis zum Nucleus interpeduncularis im Mittelhirn. Von diesem Kern ziehen Fasern zu vegetativen Hirnstammzentren (besonders Formatio reticularis; z. B. Speichelsekretionszentrum). So nimmt man an, dass die Nuclei habenulares u. a. an der Speichelsekretion bei wohlriechenden Speisen (Riechinformation aus Nuclei septales) beteiligt sind.

7.4.4 Die Area pretectalis und Commissura posterior

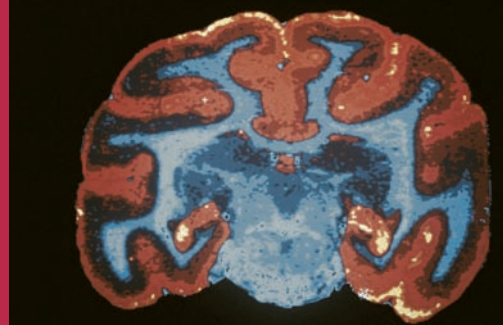
Die Area pretectalis (Nuclei pretectales) gehört entwicklungsgeschichtlich zum Epithalamus, funktionell zum visuellen System (s. S. 213).

In der Commissura posterior (oder Commissura epithalamica, oberhalb der Öffnung des Aqueductus mesencephali zum III. Ventrikel) kreuzen Fasern der Area pretectalis (und anderer Mittelhirnkerne).



Check-up

- ✓ **Machen Sie sich noch einmal die Lage und die funktionelle Bedeutung der Epiphyse (s. a. S. 136) klar.**



Endhirn (Telencephalon)

- 8.1 Der Überblick 145
- 8.2 Die Oberfläche 146
- 8.3 Der Isokortex 150
- 8.4 Die subkortikalen Kerne 157
- 8.5 Die weiße Substanz des Endhirns 161
- 8.6 Der Hippocampus 163

Diagnose mit Folgen



Blitzartig einschießende Bewegungen treten bei Patienten mit Chorea Huntington u. a. im Gesichtsbereich auf (orobukolinguale Hyperkinesen).

Basalganglien sind Kerne des motorischen Systems, die von der weißen Substanz des Telencephalon umgeben werden. Sie sind in motorische Schaltkreise eingebunden und übernehmen bei der Ausführung von Bewegungen komplexe regulierende Aufgaben. Zu den Basalganglien zählen Globus pallidus und Striatum. Letzteres gliedert sich in den Nucleus caudatus und das Putamen. Kommt es zu Störungen im Bereich der Basalganglien, können Bewegungsabläufe schwerwiegend gestört werden.

Psychische Symptome

„Er ist in letzter Zeit so komisch. Manchmal setzt er sich abends mit seiner Bierflasche hin und starrt blind in eine Ecke“, beschreibt Frau L. das Verhalten ihres Mannes. Der 40-jährige Tontechniker Andreas L. sitzt dem Neurologen Dr. Neuss gegenüber und ist still. Der Arzt beobachtet nur ein sporadisches Zucken seines Gesichtes. „Er ist auch so reizbar. Kürzlich hat er unseren Sohn grundlos angebrüllt. Das hat er früher nie gemacht. Außerdem zucken seine Arme und Beine so seltsam“, führt die Ehefrau fort.

Versteckte Hyperkinesien

Als Dr. Neuss aufsteht, um den Mann zu untersuchen, bemerkt er eine schleudernde Bewegung dessen rechten Armes. Zugleich nimmt der Neurologe wahr, dass Andreas Leitner versucht, das Schleudern des Armes zu vertuschen, indem er sich aus der unkontrollierten Bewegung heraus lässig über das Haar streift,

als wäre die Handlung beabsichtigt gewesen. Während der Untersuchung fallen noch andere unkontrollierte, schnelle Schleuderbewegungen seiner Beine und der Arme auf. „Hyperkinetisches Syndrom“ wird der Arzt später in der Patientenakte notieren. Bei der Untersuchung macht Andreas L. einen unkonzentrierten Eindruck. Manche Aufforderungen muss Dr. Neuss 2- bis 3-mal wiederholen, bis der 40-jährige sie befolgt. Der Neurologe bittet seinen Patienten, die Zunge mehrere Sekunden lang ausgestreckt zu halten. Diese scheinbar einfache Aufgabe bereitet dem Mann größte Mühe, was Dr. Neuss als „motorische Impersistenz“, ein typisches Zeichen für seine Verdachtsdiagnose, dokumentiert.

Verhängnisvolle Genfolge

Den Krankheitsverdacht, den der Arzt hat, möchte er noch nicht aussprechen. Er weiß, dass die Nennung der Diagnose „Chorea Huntington“ schlimme Folgen haben würde, und zwar nicht nur für Andreas L. selbst: Da die Erkrankung autosomal dominant vererbt wird, wäre der Sohn des Ehepaars mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenfalls betroffen.

Um seinen Verdacht zu überprüfen, veranlasst der Arzt eine genetische Diagnostik und lässt ein kraniales MRT des Patienten anfertigen. Die Ergebnisse sind leider eindeutig: Der genetische Test ergibt die für Chorea Huntington typischen Wiederholungen des Basentriplets CAG im verantwortlichen Gen auf Chromosom 4. In der Computertomographie des Kopfes stellt der Neuroradiologe eine Atrophie im Bereich von Nucleus caudatus und Putamen fest.

Therapie: unzureichend

Jetzt fällt dem Arzt eine schwere Aufgabe zu: Er muss dem Patienten die Diagnose seiner Erkrankung mitteilen. Auch diesmal ist Andreas L. in Begleitung seiner Frau in die Praxis gekommen. Während der Neurologe spricht, kann Frau L. die Tränen nicht unterdrücken. Auch für Dr. Neuss ist das Gespräch schwierig: Er kann dem Patienten nicht einmal eine neuroprotektive Therapie anbieten. Bisher ist in Deutschland nur eine symptomatische Behandlung von Chorea Huntington zugelassen. Gegen Hyperkinesien kann allenfalls der antidopaminerge Effekt von Neuroleptika eingesetzt werden. Da als Nebenwirkung dieser Substanzgruppe jedoch auch die Entwicklung von Bewegungsstörungen möglich ist, sollten solche Medikamente sparsam eingesetzt werden.

8 Endhirn (Telencephalon)

8.1 Der Überblick

Das **Endhirn** (**Telencephalon**, **Cerebrum** oder **Großhirn**) besteht aus zwei Hemisphären, zwischen denen sich die tiefe **Fissura longitudinalis cerebri** befindet, und überdeckt große Teile des Zwischenhirns und des Hirnstamms. Es ist die „höchste Instanz“ des ZNS und macht etwa 80 % der gesamten Hirnmasse aus.

Die Oberfläche des Telencephalon ist durch eine starke Faltung charakterisiert. Dicht gepackte Windungen (**Gyri cerebri**) sind durch Furchen (rinnenförmige Einsenkungen, **Sulci cerebri**) getrennt (**Abb. 8.1**).

Das Endhirn gliedert sich (entsprechend der Lage zu den angrenzenden Schädelknochen) in folgende Lappen (**Lobi**):

- Lobus frontalis (Frontal- oder Stirnlappen)
- Lobus parietalis (Parietal- oder Scheitellappen)
- Lobus temporalis (Temporal- oder Schläfenlappen)

- Lobus occipitalis (Okzipital- oder Hinterhauptslappen)
- Lobus insularis (Insellappen, auch einfach Insula = Insel genannt)
- Lobus limbicus (limbischer Lappen).

An Hirnschnitten ist die innere Gliederung des Telencephalon zu erkennen: Als **graue Substanz** die Rinde (**Cortex cerebri**) an der Oberfläche und **subkortikale Kerne** in der Tiefe. Den größten Teil der Endhirnrinde bildet der sechsschichtige **Isokortex**, an dem – je nach funktioneller Bedeutung – verschiedene spezialisierte Areale unterschieden werden können. Die phylogenetisch älteren Teile der Hirnrinde werden zum drei- bis fünfschichtigen **Allokortex** zusammengefasst, zu dem u. a. der Hippocampus zählt. Zwischen der Endhirnrinde und den subkortikalen Kernen liegen Ansammlungen verschiedener Bahnen als **weiße Substanz**. Die graue Substanz des Cortex cerebri und die darunter gelegene weiße Substanz bilden zusammen das **Pallium** (Großhirnmantel).

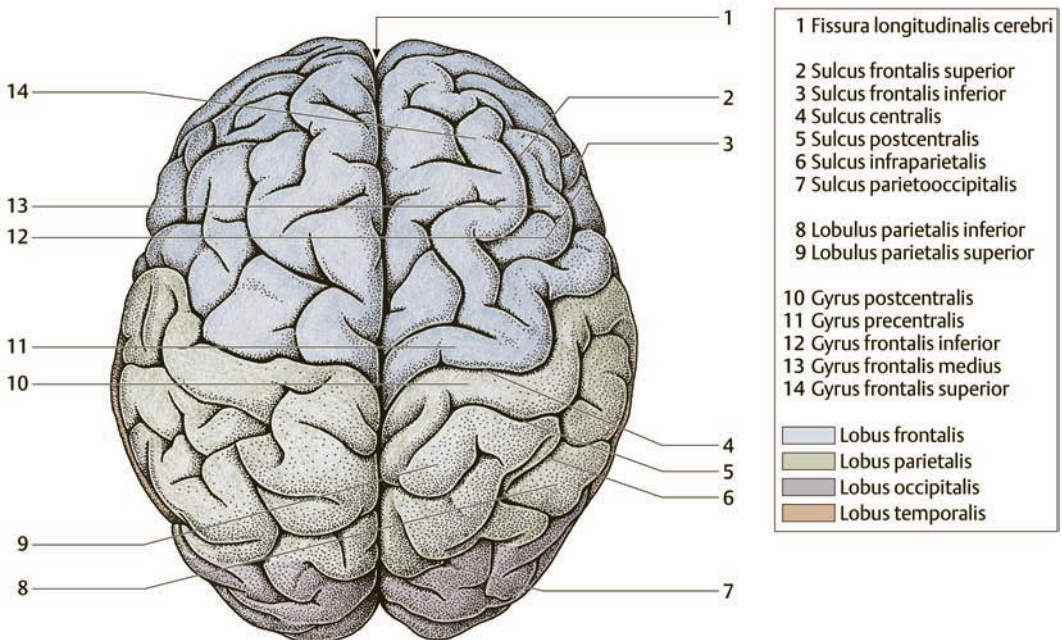


Abb. 8.1 Hemisphären des Endhirns mit Gyri und Sulci
In der Ansicht von oben sind nicht alle Lappen erkennbar.

8.2 Die Oberfläche



Lerncoach

Im Folgenden werden die Strukturen des Endhirns beschrieben, die makroskopisch sichtbar sind, wenn man ein Gehirn als Ganzes und im Medianschnitt betrachtet. Nehmen Sie sich beim Lesen möglichst ein Modell oder die zugehörigen Abbildungen zu Hilfe und prägen Sie sich beim Lernen insbesondere die hervorgehobenen Begriffe ein; diese benötigen Sie für die Zuordnung wichtiger Funktionen. Die Nennung der übrigen deskriptiven Begriffe soll Ihnen helfen, sich am Hirnpräparat besser zurechtzufinden.

8.2.1 Die Ansicht von lateral

Frontal-, Parietal- und Temporallappen sind durch deutliche Furchen voneinander getrennt:

- Der **Sulcus centralis** trennt den Lobus parietalis vom Lobus frontalis (Abb. 8.1 und 8.2a).
- Der tiefe **Sulcus lateralis** grenzt den Lobus temporalis gegen den darüber liegenden Lobus frontalis und Lobus parietalis ab (Abb. 8.2a).

Der Lobus occipitalis ist nicht durch einen Sulcus scharf abgegrenzt. Seine Abgrenzung erfolgt durch eine schräge Hilfslinie, die vom Sulcus parietooccipitalis (s. u., mediale Fläche) absteigt.

Im **Lobus frontalis**, der mit dem Polus frontalis den vordersten Teil des Gehirns bildet, liegt vor dem Sulcus centralis der **Gyrus precentralis** (motorisches Rindenfeld). Vor dem Gyrus precentralis liegen drei nach vorne verlaufende Windungen: **Gyri frontales superior, medius** und **inferior** (voneinander durch den Sulcus frontalis superior und inferior getrennt). Der **Gyrus frontalis inferior** kann in drei Teile untergliedert werden (von vorne nach hinten): **Pars orbitalis, Pars triangularis** und **Pars opercularis**. Die drei Teile begrenzen den Sulcus lateralis von oben und sind durch seine zwei V-förmig angeordneten Ausläufer voneinander getrennt.

Im **Lobus parietalis** liegt zwischen Sulcus centralis und Sulcus postcentralis der somatosensorische **Gyrus postcentralis** (parallel zum Gyrus precentralis). Dahinter finden sich die Lobuli parietales superior und inferior (voneinander durch den Sulcus intraparietalis getrennt, s. Abb. 8.1). Der Lobulus parietalis

inferior besteht aus den **Gyri supramarginalis** und **angularis**. Der Gyrus supramarginalis liegt bogenförmig um den hinteren Furchenteil des Sulcus lateralis. Ähnlich ist der Gyrus angularis als bogenförmige Windung um das Hinterende des Sulcus temporalis superior angeordnet.

Im **Lobus temporalis** liegt der Gyrus temporalis superior parallel zum Sulcus lateralis, darunter die Gyri temporales medius und inferior (voneinander getrennt durch den Sulcus temporalis superior und inferior). An der oberen Fläche des **Gyrus temporalis superior**, die im Sulcus lateralis liegt, finden sich die **Gyri temporales transversi** (2–4 Heschl-Querwindungen, Hörwahrnehmung, s. S. 154). Okzipitalwärts liegt hinter den Heschl-Windungen das Plenum temporale.

Die Insel (Insula, **Lobus insularis**, Abb. 8.2b) liegt in der Tiefe des Sulcus lateralis, bedeckt von den **Opercula frontale, parietale** und **temporale**. Sie besteht aus dem hinten-unten gelegenen Gyrus longus insulae und den vorne-oben gelegenen Gyri breves insulae (voneinander durch den Sulcus centralis insulae getrennt). Die Insel als Ganzes wird vom Sulcus circularis insulae fast vollständig begrenzt. Nur am Limen insulae geht die Insel in die basale Hirnfläche über.

Im **Lobus occipitalis** bildet der Polus occipitalis den hintersten Teil des Gehirns.

Oben geht die Facies lateralis der Hemisphären an der relativ scharfen **Mantelkante** (Margo superior) in die mediale Hemisphärenfläche über.

8.2.2 Die Ansicht von medial

Nach Abtrennung des Hirnstamms und nach Trennung der Hemisphären durch einen Medianschnitt ist die mediale Hemisphärenfläche erkennbar (Abb. 8.3). Man erkennt den bogenförmigen durchtrennten Balken (**Corpus callosum**), an dem vorne das **Genu**, hinten das **Splenium** und dazwischen der **Truncus corporis callosi** zu unterscheiden sind. Das Rostrum des Balkens ist das vordere, nach unten spitz in die Lamina terminalis auslaufende Ende. Die **Lamina terminalis** bildet die vordere dünnwandige Begrenzung des III. Ventrikels (s. S. 175). Unmittelbar hinter der Lamina terminalis liegt auf Höhe des Sulcus hypothalamicus die **Commissura anterior**. Im hinteren Bereich liegt unter dem Balken der **Fornix** (s. S. 135). Vorne findet sich zwi-

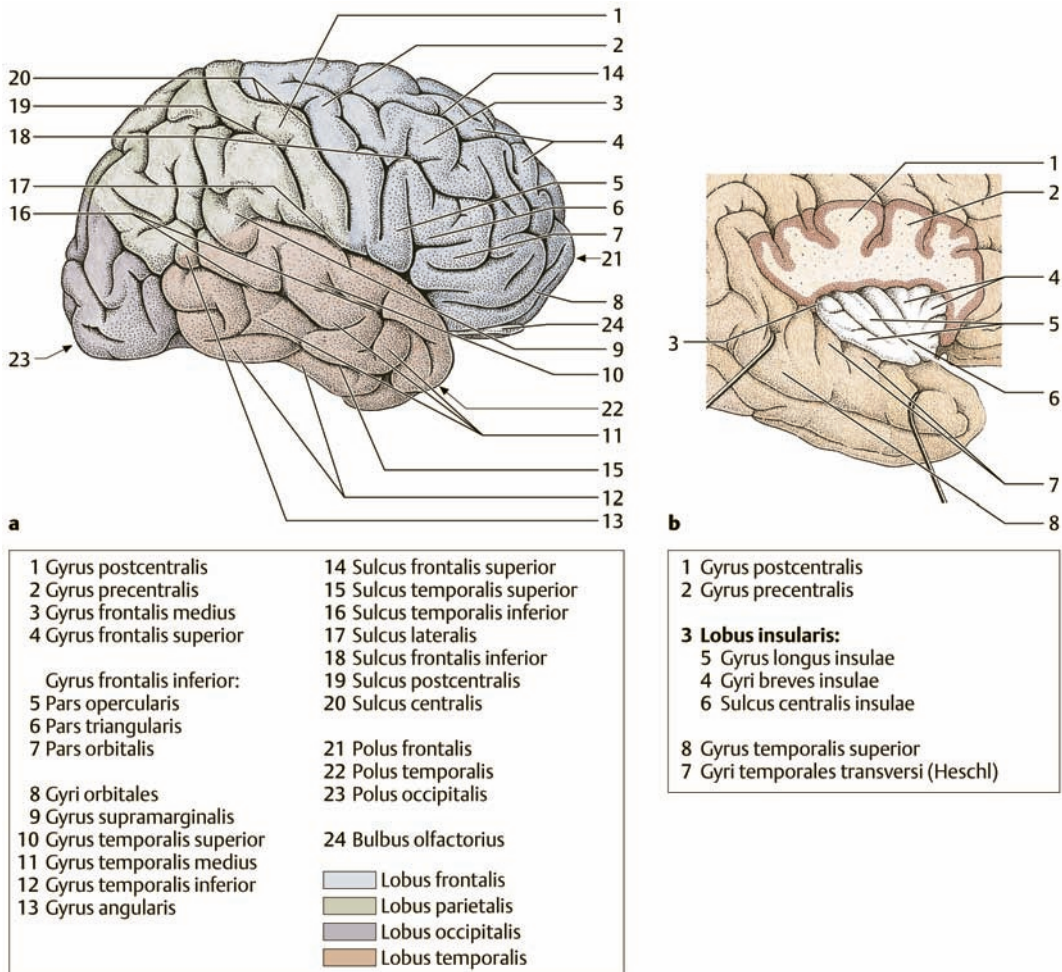


Abb. 8.2 Ansicht der rechten Hemisphäre von lateral (a) und nach Abtragung des Operculum frontoparietale (b) zur Darstellung des Lobus insularis (weiß) sowie der Gyri temporales transversi (Ausschnitt)

schen Balken und Fornix das dünne **Septum pellucidum** (aus Gliazellen), eine zweiblättrige Trennwand zwischen den Seitenventrikeln. Die zwei Blätter (Laminae septi pellucidi) begrenzen eine schlitzförmige Höhle, das Cavum septi pellucidi (beim Medianschnitt eröffnet).

Über dem Balken liegt eine dünne Schicht grauer Substanz (wenig differenziert), das **Indusium griseum**, das vorne unter dem Rostrum corporis callosi in den **Gyrus paraterminalis** (vor der Lamina terminalis) übergeht. Hinten geht das Indusium griseum über dem Splenium corporis callosi in den Gyrus fasciolaris über. Letzterer setzt sich in den

Gyrus dentatus (als Teil des Hippocampus, s. S. 165) fort.

Medial und lateral vom Indusium griseum verlaufen zwei Längsstreifen, Striae longitudinales medialis und lateralis, die Faserbahnen des Hippocampus enthalten. Sie sind z.T. bedeckt vom Gyrus cinguli.

Insgesamt bilden Gyrus paraterminalis, Indusium griseum (mit den Striae longitudinales), Gyrus fasciolaris, Gyrus dentatus und der Limbus Giacomini (vorderer Ausläufer des Gyrus dentatus über dem Uncus, s.u.) den inneren Ring des limbischen Kortex (**Lobus limbicus**).

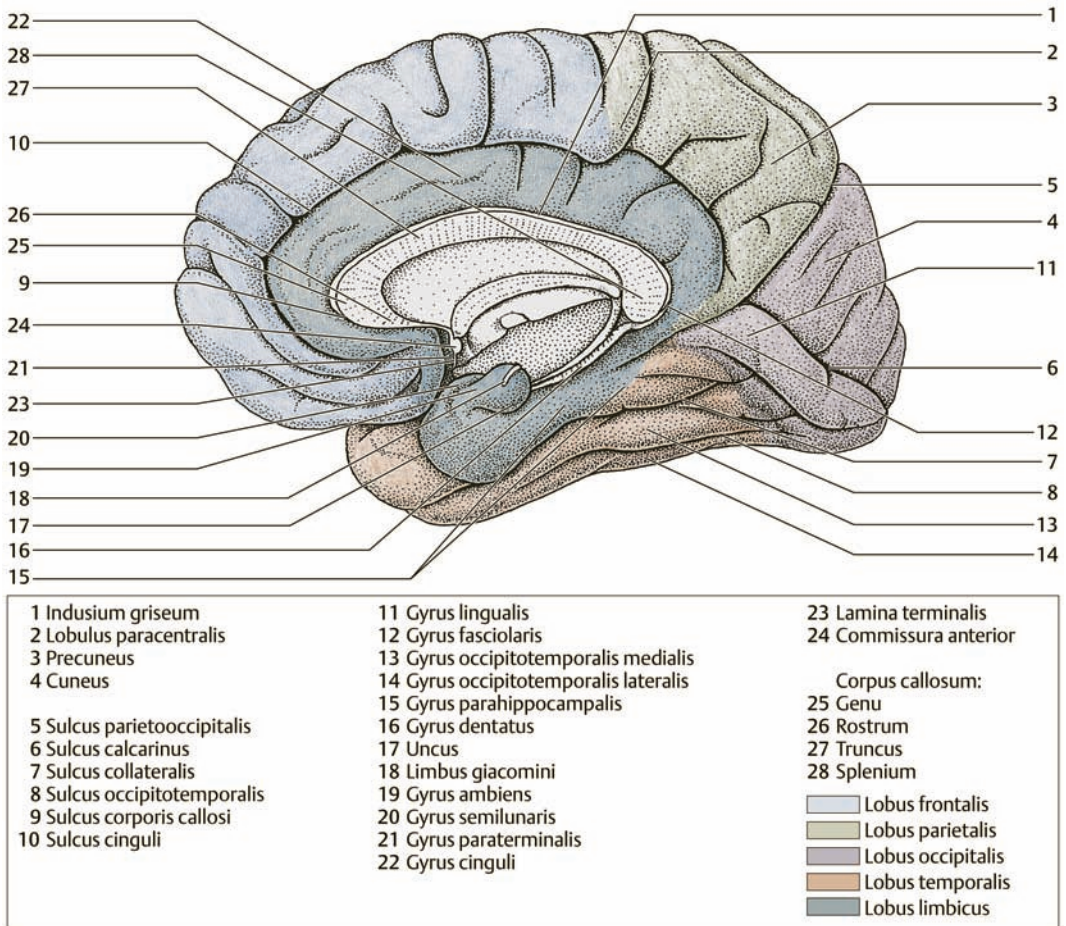


Abb. 8.3 Medianansicht der rechten Hemisphäre

Um den inneren Ring liegt der äußere Ring des Lobus limbicus:

Der **Gyrus cinguli** verläuft über und parallel zum Balken; er wird vorne und oben durch den Sulcus cinguli und zum Balken durch den Sulcus corporis callosi abgegrenzt. Unter dem Rostrum corporis callosi geht der Gyrus cinguli in die **Area subcallosa** (vor dem Gyrus paraterminalis) über. Hinten (am Splenium corporis callosi) verjüngt sich der Gyrus cinguli, biegt nach vorne um und vereinigt sich mit dem Gyrus lingualis zum **Gyrus parahippocampalis**. Das vordere hakenförmige Ende des Gyrus parahippocampalis ist der Uncus. Vor dem Uncus liegen noch zwei kleine Windungen (Gyrus semilunaris und Gyrus ambiens). Zwischen dem Gyrus parahip-

pocampalis und dem darunter gelegenen Gyrus occipitotemporalis medialis liegt der **Sulcus collateralis**, der sich vorne am Uncus in den Sulcus rhinalis fortsetzt.

Über dem Gyrus cinguli erkennt man vorne als Windung des Stirnlappens den Gyrus frontalis medialis. Dahinter findet sich der Lobulus paracentralis, der eine hakenförmige Verbindung zwischen Gyrus pre- und postcentralis bildet. Der Lobulus paracentralis ist hinten durch eine vom Sulcus cinguli aufsteigenden Furche vom **Precuneus** abgegrenzt. Letzterer wird nach hinten durch den **Sulcus parietooccipitalis** begrenzt, der den Parietallappen vom Okzipitallappen trennt. Hinter dem Sulcus parietooccipitalis liegt der dreieckige **Cuneus**, der

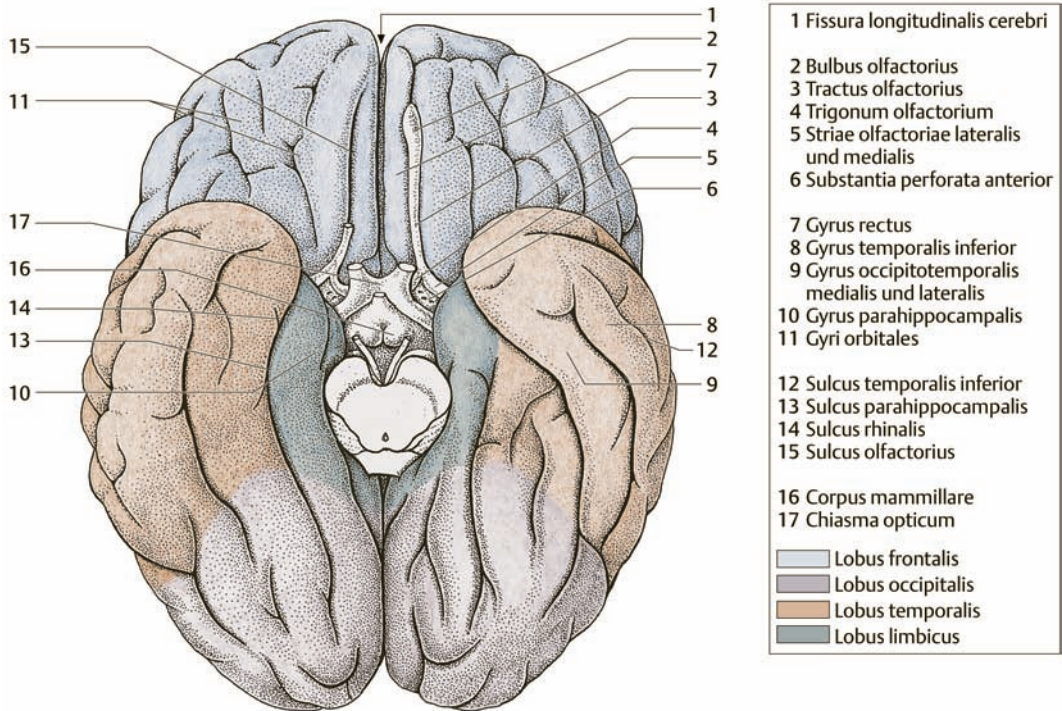


Abb. 8.4 Basalansicht des Endhirns

nach unten durch den **Sulcus calcarinus** vom Gyrus lingualis abgegrenzt ist. Ganz basal erkennt man den Gyrus occipitotemporalis lateralis, der am Sulcus occipitotemporalis an den Gyrus occipitotemporalis medialis grenzt.

8.2.3 Die Ansicht von unten

Der Interhemisphärenspalt (Fissura longitudinalis cerebri), das Chiasma opticum, die Basalfläche des Hypothalamus (u. a. mit Corpora mammillaria) sowie das durchtrennte Mittelhirn sind sichtbar (Abb. 8.4). Am Frontallappen (vorne mit Polus frontalis) liegen die **Gyri orbitales** (dazwischen die Sulci orbitales). Am medialen Rand befindet sich der **Gyrus rectus**, der durch den Sulcus olfactorius von den Gyri orbitales abgegrenzt ist. Im Sulcus olfactorius liegen der **Tractus olfactorius** und davor der flache **Bulbus olfactorius**. Hinten verbreitert sich der Tractus olfactorius zum dreieckigen Pedunculus olfactorius mit dem Trigonum olfactorium. Aus den

Seiten des Trigonum gehen die **Striae olfactoriae medialis** und **lateralis** hervor und setzen sich in die gleichnamigen Gyri olfactorii fort. Zwischen den Striae olfactoriae und dem Trigonum olfactorium liegt die **Substantia perforata anterior**, ein von Gefäßen durchlöcherter Feld. Die übrigen Gyri und Sulci, die an der Facies inferior zu erkennen sind, wurden bereits bei der Ansicht von medial behandelt.



Check-up

- ✓ **Machen Sie sich noch einmal die Lage der einzelnen Endhirnlappen klar.**
- ✓ **Ordnen Sie folgende Gyri dem jeweils zugehörigen telencephalen Lappen zu: Gyrus precentralis, Gyrus postcentralis, Gyrus supramarginalis, Gyrus cinguli, Gyrus parahippocampalis und Gyrus rectus.**

8.3 Der Isokortex



Lerncoach

Der Aufbau dieses phylogenetisch jüngsten Teils der Endhirnrinde ist spezialisiert und unterscheidet sich demnach in verschiedenen Rindenbezirken. Diese Spezialisierung bedingt sehr spezifische Ausfallsmuster bei der Schädigung einzelner Areale (z. B. bei Durchblutungsstörungen), anhand derer Sie sich die funktionelle Bedeutung der jeweiligen Zentren gut vor Augen führen können.

8.3.1 Der histologische Aufbau des Isokortex

8.3.1.1 Die Nervenzelltypen

Im Isokortex, der aufgrund seines phylogenetischen Alters auch Neokortex genannt wird, lassen sich zwei Haupttypen von Nervenzellen unterscheiden: Pyramidenzellen und Nicht-Pyramidenzellen:

- Die **Pyramidenzellen** sind Projektionsneurone und enthalten als Transmitter meist **Glutamat**. Sie machen 85% aller isokortikalen Neurone aus.

Ihr Perikaryon ähnelt einer Pyramide, deren Spitze nach oben (Richtung Hirnoberfläche) gerichtet ist. Von der Spitze zieht der Apikaldendrit senkrecht zur Hirnoberfläche; dabei gibt er zahlreiche Seitenäste ab und endet meist in der Lamina I (s.u.). Weitere Dendriten gehen vom Rand der Basis (des Somas) ab; diese Basaldendriten sind horizontal oder schräg ausgerichtet. Alle Dendriten besitzen kleine Ausziehungen (Dornen, Spines), an denen synaptische Kontakte mit Axonen anderer Nervenzellen ausgebildet sind. An der Zellbasis (oder am Stamm eines Basaldendriten) entspringt das Axon der Pyramidenzelle, das senkrecht nach unten (in Richtung weiße Substanz) verläuft. Zur Klasse der Pyramidenzellen gehören auch „modifizierte Pyramidenzellen“, die Abweichungen von den beschriebenen Charakteristika zeigen.

- Die **Nicht-Pyramidenzellen** (auch Sternzellen genannt) sind intrakortikale Interneurone und enthalten in der Regel den Transmitter **GABA**. Sie haben kleine, polygonale oder spindelförmige Zellkörper. Die Dendriten haben keine Spines. Das Axon kann von allen Teilen des Zellleibes entspringen und verlässt die Hirnrinde nicht. In der Klasse der Nicht-Pyramidenzellen sind auch einige Sonderformen beschrieben worden (Korbzellen, bipolare Zellen, Doppelbuschzellen).

Die Form der Perikarya und das Fortsatzmuster von Neuronen lassen sich mittels Golgi-Imprägnation (mit Hilfe von Silbersalzen) darstellen.

8.3.1.2 Die Schichtung

Die Schichtung (Lamination) des Kortex lässt sich mit Nissl-Präparaten (Zytoarchitektonik) und in Markscheidenpräparaten (Myeloarchitektonik) analysieren.

Beim Isokortex werden von der Oberfläche in Richtung Marklager sechs Schichten unterschieden, die durch die charakteristische Verteilung unterschiedlicher Nervenzellen und ihrer Axone gekennzeichnet sind (**Abb. 8.5**). Neben den in Tabelle 8.1 aufgeführten Neuronen sind in allen Schichten Nicht-Pyramidenzellen anzutreffen (häufiger in den Schichten I–III).

Wenn der Schichtenaufbau, wie hier beschrieben, klar erkennbar ist, handelt es sich um den **homotypischen** Isokortex. **Heterotypische** Isokortexareale

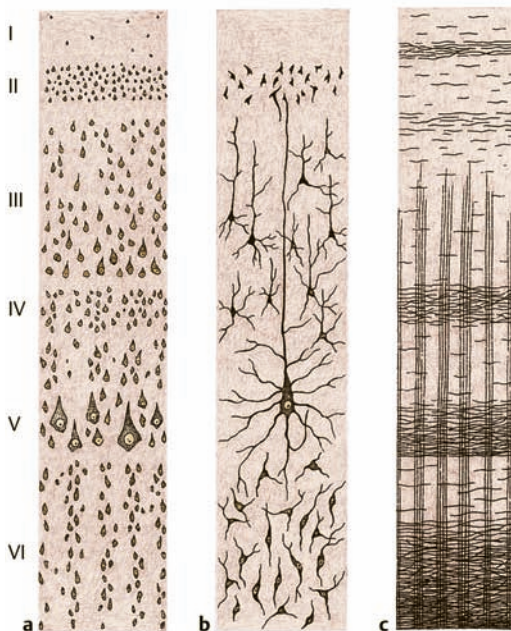


Abb. 8.5 Die Schichten des Isokortex im Nissl-Präparat (a), Golgi-Präparat (b) und Markscheidenpräparat (c)

Tabelle 8.1

Schichten des Isokortex	
Schicht	Charakteristika
Lamina I (Lamina molecularis, Molekularschicht)	– nur wenige Nervenzellen (Nicht-Pyramidenzellen) – Axone dieser Nicht-Pyramidenzellen verlaufen in der unteren Hälfte der Schicht tangential und bilden mit Fortsätzen anderer kortikaler Neurone Synapsen (s. Pyramidenzellen)
Lamina II (Lamina granularis externa, äußere Körnerschicht)	– Kleine, sehr dicht gepackte Pyramidenzellen – Axone der Pyramidenzellen bilden Assoziationsfasern (s. S. 161)
Lamina III (Lamina pyramidalis externa, äußere Pyramidenschicht)	– Pyramidenzellen, die von außen nach innen größer werden, in lockerer Anordnung – Axone formieren sich hauptsächlich zu Kommissurenfasern – Im oberen Teil dieser Schicht kann ein horizontal orientierter Faserplexus vorhanden sein (nur in Sekundärfeldern ausgebildet).
Lamina IV (Lamina granularis interna, innere Körnerschicht)	– dicht gepackte kleine Pyramidenzellen, deren Axone sich in der eigenen oder in tieferen Schichten verzweigen (zusammen mit dem ähnlichen Aspekt in Lamina II entsteht der namensgebende Eindruck einer Körneransammlung) – Bündel horizontal verlaufender Fasern von hier endenden Afferenzen aus dem Thalamus
Lamina V (Lamina pyramidalis interna, innere Pyramidenschicht)	– z. T. sehr große Pyramidenzellen in lockerer Packungsdichte, deren Axone die Fibræ corticostriatales, pontinae, nucleares und spinale bilden – horizontal verlaufende Axone oder Axonkollaterale aus den Laminæ II, III und V bilden in der Mitte der Lamina V den inneren Baillarger-Streifen
Lamina VI (Lamina multiformis, multiforme Schicht)	– morphologisch unterschiedliche Zellen; meist kleinere modifizierte Pyramidenzellen (oft mit spindelförmigen Soma), die ihre Axone zu den Thalamuskernen schicken – meist unscharfe Grenze zum darunter gelegenen Marklager

zeigen Abweichungen (s. z.B. primär motorischer Kortex, S. 152).

MERKE

- Lamina IV: Hier enden die meisten spezifischen thalamokortikale Projektionen.
- Lamina V und VI: Ihre Efferenzen ziehen zu subkortikalen Gebieten (z. B. aus VI zum Thalamus).
- Lamina II und III: Sie bilden Assoziations- und Kommissurenfasern.

8.3.1.3 Die vertikale Kolumnen – das Modul-Konzept

Bei den vertikalen Kolumnen (Säulen) handelt es sich um kleine Funktionseinheiten des Isokortex, die senkrecht zur Oberfläche der Hirnrinde ausgerichtet sind und alle sechs Schichten umfassen. Die vertikalen Kolumnen weisen einen Durchmesser von 30–300 µm auf, enthalten ca. 2500 Neurone (darunter ca. 100 Pyramidenzellen) und sind als elektrophysiologische, d. h. funktionelle Module aufzufassen. Ihre Neurone sind in radiärer Richtung miteinander verknüpft. Am Rand werden die Ko-

lumnenn durch die Aktivität hemmende Interneurone begrenzt. Letztere hemmen Pyramidenzellen benachbarter Kolumnen (**laterale Hemmung**). Beispielsweise erhalten vertikale Kolumnen im primär somatosensorischen Kortex (s. S. 154) jeweils weitergeleitete Impulse aus Rezeptoren eines umschriebenen kleinen Hautbezirks.

8.3.2 Die funktionellen Kortexareale

8.3.2.1 Die Primär-, Sekundär- und Assoziationsfelder

Unter funktionellen Gesichtspunkten lässt sich der Isokortex in Primär-, Sekundär- und Assoziationsfelder gliedern. Insgesamt lassen sich in der Endhirnrinde mehr als 50 verschiedene Rindenfelder (**Areae**) unterscheiden, die nach ihrem Erstbeschreiber Brodmann nummeriert werden.

Die Primärfelder

Jeder Lappen enthält ein primäres Rindenfeld:

- visuell im Okzipitallappen
- auditorisch im Temporallappen
- somatosensorisch im Parietallappen
- somatomotorisch im Frontallappen.

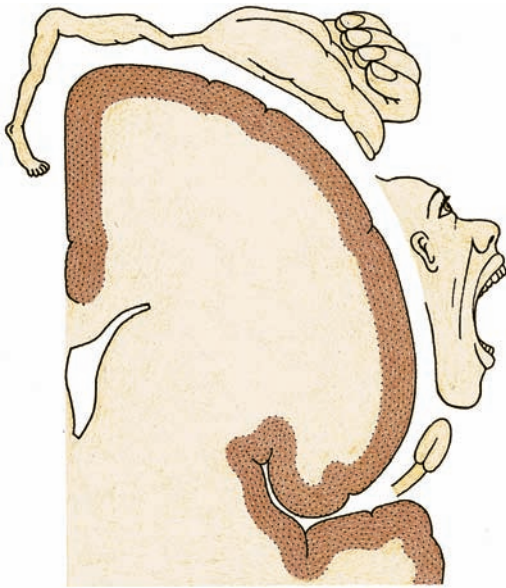


Abb. 8.6 Motorischer Homunkulus

Die **sensorischen** Primärfelder erhalten ihre Afferenzen aus dem Thalamus; sie sind also primäre Zielgebiete der jeweiligen Sinnesbahn (Sehbahn, Hörbahn und sensible Bahnen). Hier erfolgt die kortikale Informationsverarbeitung. Die Informationen werden *interpretationsfrei* zu Bewusstsein gebracht.

Neben den rezeptiven Primärgebieten existiert ein primär **motorisches** Rindenfeld (primär motorischer Kortex = Motorkortex), das über die Pyramidenbahn Bewegungen initiieren kann.

Die Sekundär- und Assoziationsfelder

Im menschlichen Gehirn machen die Sekundär- und Assoziationsfelder einen Großteil des Isokortex aus. In den sensorischen **Sekundärfeldern**, die jeweils neben den entsprechenden Primärfeldern liegen, erfolgt die weitere kortikale Informationsverarbeitung. Dabei findet eine erste Interpretation der Sinnesinformation, d.h. Zuordnen/Erkennen des Wahrgenommenen, statt.

Die sensorischen **Assoziationsfelder** verarbeiten Informationen verschiedener sensorischer Modalitäten (Verarbeitungsschritte höherer Ordnung aus Signalen verschiedener Sinnessysteme). Sie sind also mit verschiedenen primären und sekundären Rin-

denfeldern eines funktionellen Systems afferent und efferent verbunden.

In Analogie zu sensorischen Systemen gibt es auch im motorischen System Kortexareale, die mit dem primär motorischen Kortex efferent und afferent verbunden sind (prämotorischer und supplementär motorischer Kortex). In diesen Arealen werden in Verbindung mit den Basalganglien und dem Kleinhirn Bewegungsentwürfe erstellt, die zur Initiierung an den primär motorischen Kortex weitergeleitet werden.



Prägen Sie sich die Lage der einzelnen funktionellen Zentren ein, indem Sie ggf. noch einmal die Ansichten des Gehirns (s. S. 145 ff) zu Hilfe nehmen. Dies erleichtert es Ihnen später, bestimmte Funktionsausfälle dem Verschluss einzelner Hirngefäße zuzuordnen und ist von großer klinischer Relevanz.

8.3.2.2 Der Frontallappen

Das motorische Primärfeld

Der primär motorische Kortex (Brodmann-Area 4) liegt vor dem Sulcus centralis. Er ist ca. 2 cm breit und entspricht etwa dem hinteren Teil des Gyrus precentralis; er ist also weitgehend im Sulcus centralis verborgen.

Die Körperteile sind „landkartenartig“ auf dem primär motorischen Kortex repräsentiert (**motorischer Homunkulus**, Somatotopie, Abb. 8.6). Dabei fällt auf, dass z. B. Hand, Gesicht oder Zunge überproportional große Areale einnehmen (→ Feinmotorik und Sprache). Auf der medialen Hemisphärenoberfläche und an der Mantelkante ist die untere Extremität repräsentiert. Nach lateral schließen sich der Rumpf und die obere Extremität, dann der Kopf an. Aus dem primär motorischen Kortex (und auch anderen motorischen Gebieten s.u.) entspringen die Axone, die *ohne* Unterbrechung (und damit schnell leitend) bis in den Hirnstamm und in das Rückenmark ziehen (Fibrae corticonucleares und Fibrae corticospinales).

Histologisch ist der Motorkortex charakterisiert durch:

- Fehlen der Lamina IV (d. h. keine thalamischen Afferenzen) → **agranulärer Kortex** (vgl. granulärer Kortex, S. 155).
- **Betz-Riesenzellen** in Lamina V: Hierbei handelt es sich um besonders große Pyramidenzellen (entsprechend der enormen Länge ihrer Axone).

Klinischer Bezug

Läsionen im Bereich des primär motorischen Kortex haben kontralaterale motorische Ausfälle (zentrale Lähmung) zur Folge. Dabei sind die Muskelgruppen betroffen, die im geschädigten Bereich des Gyrus precentralis liegen: Ist die laterale Hemisphärenseite betroffen, kommt es zu Lähmungen im Bereich der oberen Körperhälfte. Läsionen auf der Medialseite führen zu Muskelausfällen der unteren Extremität (s. a. S. 188).

Der prämotorische und supplementär motorische Kortex

Der prämotorische Kortex liegt auf der lateralen Hemisphärenoberfläche vor der Area 4. Etwa ab der Mantelkante liegt der supplementär motorische Kortex vor der Area 4 auf der medialen Hemisphärenoberfläche. Sowohl im prämotorischen als auch im supplementär motorischen Kortex findet man eine Somatotopie. Beide sind reziprok mit der Area 4 verbunden.

Der prämotorische Kortex ist bei der Ausführung komplexer Bewegungsabläufe (Aufeinanderfolge von Muskelkontraktionen und deren Abstufung) beteiligt, z.B. beim Schreiben. Die Funktion des supplementär motorischen Kortex ist die Planung und Initiierung eines komplexen Bewegungsmusters (vorbereitende Funktion).

Der prämotorische Kortex schickt zudem Efferenzen zu extrapyramidalen Zentren (z. B. Formatio reticularis, Nucleus ruber) und gibt Fasern in die Pyramidenbahn ab (besonders für die proximale Extremitätenmuskulatur).

Der präfrontale Kortex

Der präfrontale Kortex (auch frontaler Assoziationskortex) liegt vor der prämotorischen Rinde und reicht nach vorne bis an den Frontalpol. Er ist für die höheren Funktionen des menschlichen Gehirns von besonderer Bedeutung:

- soziales und ethisches Verhalten mit Affektkontrolle
 - Motivation und Initiative
 - Verstand und Vernunft
 - Ausdauer und Konzentration
 - kognitive Leistungen (z. B. planerisches Denken).
- Der präfrontale Kortex ist afferent und efferent mit zahlreichen Endhirnarealen verbunden. Er erhält zudem Afferenzen aus den medialen Thalamuskernen und aus der Formatio reticularis.

Klinischer Bezug

Morbus Pick: Diese Erkrankung (besonders bei Männern zwischen dem 40. und 60. Lebensjahr) wird auch als Frontallappendegeneration betrachtet. Besonders im Bereich des präfrontalen Kortex sind schmale Gyri und breite Sulci erkennbar. Es kommt insbesondere zu Persönlichkeitsveränderungen wie triebhafter Enthemmung, Witzelsucht, Verlust von Antrieb und Initiative sowie Fresssucht. Später stellen sich Gedächtnisstörungen und ein Sprachverlust ein. Der Verlauf der Erkrankung ist therapeutisch nicht zu beeinflussen (Tod nach ca. 8 Jahren).

Das Broca-Zentrum (motorisches Sprachzentrum)

Das motorische Sprachzentrum liegt in der Pars opercularis und in der Pars triangularis des Gyrus frontalis inferior der **dominanten Hemisphäre**.

Als dominant bezeichnet man die Hemisphäre, in der die sensorische und motorische Verarbeitung der Sprache erfolgt. Bei Rechtshändern ist es die linke, bei Linkshändern auch die linke oder (seltener) die rechte Hemisphäre. In der dominanten Hemisphäre liegen zudem arithmetische und analytische Fähigkeiten, während in der nicht dominanten Hemisphäre emotionsbetontes und phantasievolles Denken möglich ist.

Klinischer Bezug

Broca-Aphasie: Bei einer kortikalen Läsion im Bereich des motorischen Sprachzentrums kommt es zu einer besonderen Form der Aphasie (zentrale Sprachstörung bei erhaltener Funktion der Mund- und Zungenmuskeln). Leitsymptome der Broca-Aphasie sind nichtflüssige Sprache (Telegrammstil, hauptsächlich Substantive) und Agrammatismus (grammatikalische Fehler). Das Sprachverständnis bleibt meist intakt.

Das frontale Blasenzentrum

Dieses Zentrum liegt im vorderen Teil des Gyrus cinguli und im angrenzenden Gyrus frontalis medialis. Es ist wesentlich an der willkürlichen Kontrolle der Harnblasen- und Enddarmentleerung beteiligt.

MERKE

Die meisten motorischen Rindenfelder sind im Frontallappen lokalisiert. Darüber hinaus liegen im Frontallappen aber auch ganz andere Areale, die z. T. für die höheren Funktionen des menschlichen Gehirns von besonderer Bedeutung sind (→ präfrontaler Kortex).

8.3.2.3 Der Temporallappen*Die primäre und sekundäre Hörrinde*

In der Tiefe des Sulcus lateralis liegen auf der oberen Fläche des Gyrus temporalis superior zwei bis vier Windungen, die quer bzw. eigentlich schräg zu den sonst längs ausgerichteten Gyri verlaufen. Diese Gyri temporales transversi, auch **Heschl-Querwindungen**, werden erst sichtbar, wenn das parietale und frontale Operculum entfernt werden. Der **primär auditorische Kortex**, die Area 41, liegt in der vorderen Querwindung. Hier endet die Hörstrahlung (aus dem Corpus geniculatum mediale) in tonotoper Anordnung, d. h. jede Tonfrequenz hat ihren eigenen Ort in der primären Hörrinde (tiefe Frequenzen sind mehr anterolateral, höhere Frequenzen eher posteromedial repräsentiert). Histologisch zeigt die Area 41 die charakteristischen Merkmale eines primären sensorischen Kortexareals, d. h. die Schicht IV ist besonders breit und nervenzellreich. Die **sekundäre Hörrinde** (Area 42) umgibt die primäre hufeisenförmig. Hier werden z. T. auditorische Signale erkannt (z. B. Klingelton).

Das Wernicke-Zentrum (sensorisches Sprachzentrum)
Okzipital von den Areae 41/42 liegt im Gyrus temporalis superior das **Wernicke-Sprachzentrum**. Es erstreckt sich über weite Teile des Planum temporale, das eine erhebliche interindividuelle Variabilität zeigt und in der meist linken dominanten Hemisphäre größer als in der rechten ist.

Das Wernicke-Zentrum erhält seine Afferenzen u. a. aus den Areae 41/42. Es ist als Assoziationsgebiet die Grundlage des Sprachverständnisses. Hier werden Wörter oder Melodien erkannt, weshalb das Wernicke-Zentrum auch als **sensorisches Sprachzentrum** bezeichnet wird.

In der nicht-dominanten Hemisphäre wird das Gehörte eher nicht rational verarbeitet, z. B. Empfindung für Musik.

Klinischer Bezug

Wernicke-Aphasie: Charakteristisches Symptom der Wernicke-Aphasie ist das erheblich gestörte Sprachverständnis. Die Spontansprache ist zwar flüssig und in normaler Geschwindigkeit, sie weist aber überschießende Sprachproduktivität mit Kauderwelsch, Wortneubildungen (Neologismen), Wortdeformierungen (Paraphasien) und Paragramatismus (fehlerhafter Satzbau) auf.

Efferent ist das Wernicke-Zentrum u. a. mit dem motorischen Sprachzentrum über den Fasciculus arcuatus verbunden.

Klinischer Bezug

Leitungsaphasie: Bei der Leitungsaphasie ist das Nachsprechen schwer beeinträchtigt. Das Sprachverständnis ist nur gering eingeschränkt. Die Spontansprache ist flüssig, wird von Pausen zur Wortsuche unterbrochen und durch Silbvertauschungen oder Wortverstümmelungen (phonematische Paraphrasie) durchsetzt. Die Läsion liegt meist im Fasciculus arcuatus.

8.3.2.4 Der Parietallappen*Das somatosensorische Primärfeld*

Der primär somatosensorische Kortex (Area 1, 2 und 3 nach Brodmann) erstreckt sich im Gyrus postcentralis von der Medialseite über die Mantelkante bis nach unten zum Sulcus lateralis. Dieses Rindenareal ist v. a. für die Verarbeitung sensibler Zuflüsse (Oberflächen- und Tiefensensibilität aus Mechano-, Schmerz-, Thermo- und Propriozeptoren) der kontralateralen Körperhälfte zuständig. Seine Afferenzen kommen aus dem Nucleus ventralis posterolateralis (VPL) und posteromedialis

(VPM) des Thalamus. Wie das primär motorische Rindenfeld ist auch die Postzentralregion somatotop gegliedert. Über dem Sulcus lateralis sind Schlund und Mundhöhle repräsentiert, darüber dann Gesicht, Arm, Rumpf mit Genitalien und Bein. Die Beinregion reicht über die Mantelkante hinaus auf die Medialfläche. Hautbezirke mit hoher Sensibilität sind in besonders großen Rindenarealen repräsentiert (→ **somatosensorischer Homunkulus**, Abb. 8.7).

Histologisch bezeichnet man die Rinde des somatosensorischen Primärfeldes, die durch eine kräftig ausgebildete Lamina IV gekennzeichnet ist, als „granulär“.

Klinischer Bezug

Kortikal bedingte Sensibilitätsstörungen treten bei Schädigungen des Gyrus postcentralis auf. Auch hier führt die somatotopische Organisation je nach Lokalisation und Ausdehnung der Läsion zu kontralateralen Sensibilitätsausfällen in unterschiedlichen Hautarealen.

Der sekundäre somatosensorische Kortex und der parietale Assoziationskortex

Das kleine ebenfalls somatotop gegliederte Areal des sekundären somatosensorischen Kortex liegt lateral im parietalen Operculum (im Dach des Sulcus lateralis). Einen großen Teil des übrigen Parietallappens, das posteriore parietale Areal, nimmt der Assoziationskortex ein.

Das sekundäre Areal ist für das Erkennen (also die Interpretation) des Getasteten von großer Bedeutung. Der parietale Assoziationskortex, der auch aus anderen Kortexarealen (vor allem aus visuellen, auditorischen und vestibulären Rindenbezirken) Impulse erhält, ist insbesondere auch für die räumliche Vorstellung und Orientierung verantwortlich.

Klinischer Bezug

Taktile Agnosie: Diese Unfähigkeit, vertraute Gegenstände lediglich durch Ertasten zu erkennen, tritt bei Ausfällen des sekundären somatosensorischen Kortex auf.

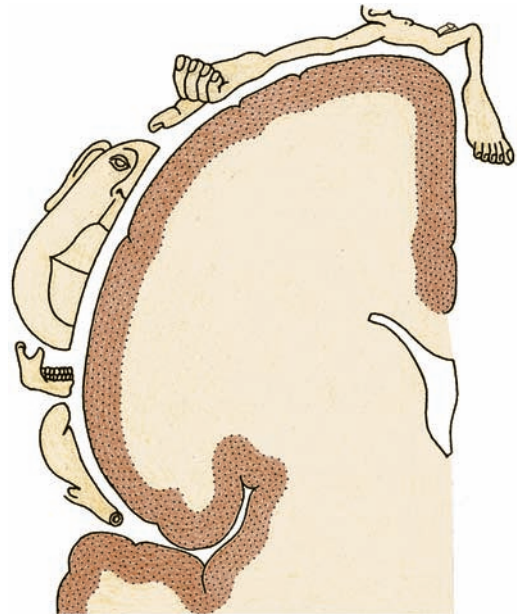


Abb. 8.7 Somatosensorischer Homunkulus

Der Gyrus angularis

Der Gyrus angularis (Area 39 nach Brodmann) liegt bogenförmig um das Hinterende des Sulcus temporalis superior (hinter dem Wernicke-Zentrum). In der dominanten Hemisphäre spielt er als eine Schaltstelle zwischen sekundärer Seh- und Hörrinde eine wesentliche Rolle bei der Zuordnung visueller Impulse zu sprachlichen Begriffen. Mithin dient der Gyrus angularis dazu, gelesene Worte zu verstehen.

8.3.2.5 Der Okzipitallappen

Die Sehrinde erstreckt sich über den ganzen Okzipitallappen.

Die **primäre Sehrinde** (Area 17 oder **Area striata**) liegt um den Sulcus calcarinus herum auf der medialen Fläche der Hemisphäre; am Okzipitalpol greift sie etwas auf die Lateralfläche über. In der Sehrinde enden die Fasern der Sehstrahlung (aus dem Corpus geniculatum laterale) topologisch geordnet; es kommt jedoch zu einer deutlichen Verzweigung. Die Projektion der Fovea centralis (Ort des schärfsten Sehens) nimmt etwa vier Fünftel der gesamten Sehrinde ein.

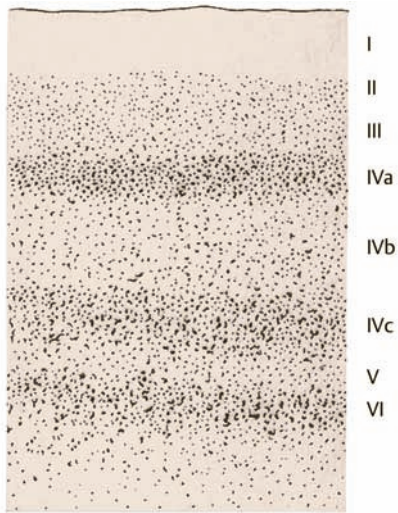


Abb. 8.8 Die Schichtung in der Area striata im Nissl-Präparat

Die primäre Sehrinde ist verantwortlich für das Bewusstsein von visuellen Impulsen aus der Retina. Eine Interpretation, d.h. das Erkennen des Wahrgenommenen erfolgt hier noch nicht.

Klinischer Bezug

Kortikale Blindheit: Wird die primäre Sehrinde geschädigt, kommt es zu einem kontralateralen Gesichtsfelddefekt beider Augen. Da bei beiden Augen die gleiche Seite des Gesichtsfeldes betroffen ist (homonyme Hemianopsie, s. a. S. 212), kann der Patient im kontralateralen Gesichtsfeld nichts sehen.

Die primäre Sehrinde zeigt eine deutliche modulare Organisation (Kolumnengliederung). Jede Kolumne ist mit einem bestimmten Bezirk der Netzhaut verbunden (Retinotopie). Dabei reihen sich jeweils eine Kolumne für die rechte Retina und eine für die linke aneinander (Augendominanzsäulen = okuläre Dominanzkolumnen).

Der komplizierte Aufbau der Schichten in der Area 17 spiegelt die hohe Differenzierung des visuellen Systems beim Menschen wider (Abb. 8.8). Die Lamina IV ist extrem differenziert: Sie wird durch einen schon makroskopisch sichtbaren weißen Streifen (**Gennari-Streifen**, daher die Bezeichnung Area striata) in drei Sublaminae gegliedert (IVa – IVc). Der Gennari-Streifen besteht aus Axonen von Neu-

ronen der stark myelinisierten Schicht IVc, die auf Pyramidenzellen umgeschaltet werden. Letztere leiten die Informationen in die sekundäre Sehrinde weiter.

Die **sekundäre Sehrinde** umfasst die übrigen Teile des Okzipitallappens (außer der Area striata). Dazu gehört die Area parastriata (Area 18), die ringförmig die Area striata umgibt, und die Area peristriata (Area 19, an die Area parastriata angrenzend). Die Area peristriata wird auch als okzipitaler Assoziationskortex bezeichnet. Area 18 und 19 werden auch als extrastriärer Kortex zusammengefasst, der in mehr als nur 2 (nämlich mehr als 20) funktionell unterschiedliche Areale unterteilt werden kann. Zudem reicht der extrastriäre Kortex auch über die Grenzen des Okzipitallappens in den Parietallappen und in den unteren Temporallappen hinein. Seine Hauptafferenzen erhält der extrastriäre Kortex aus der Area 17; er dient der Interpretation visueller Informationen. Dabei erfüllen bestimmte umschriebene Areale spezifische Funktionen, z.B. Areale zur Wahrnehmung der Form, der Farbe, der Bewegung.

Die Efferenzen des extrastriären Kortex ziehen

- zu zahlreichen kortikalen Arealen: u.a. zum frontalen Augenfeld (s. S. 200) und zum Gyrus angularis (s. S. 155)
- zu den Colliculi superiores
- zur Area pretectalis
- zur Formatio reticularis.

Auch das magno- und parvozelluläre System werden im striären und extrastriären Kortex getrennt weiterverarbeitet.



Check-up

- ✓ **Machen Sie sich klar, welche der 6 Schichten des Isokortex in motorischen und welche in sensorischen Kortexarealen gut bzw. gering ausgeprägt sein müssen.**
- ✓ **Rekapitulieren Sie die Zuordnung der verschiedenen sensorischen Zentren zum jeweiligen Endhirnlappen.**
- ✓ **Wiederholen Sie die Lokalisationen des Broca- und Wernicke-Zentrums. Machen Sie sich die funktionelle Bedeutung dieser Zentren anhand der klinischen Ausfallssymptomatik klar.**

8.4 Die subkortikalen Kerne



Lerncoach

Konzentrieren Sie sich in diesem Kapitel zunächst auf die Einteilung der im telencephalen Marklager gelegenen Nervenzellansammlungen (subkortikale Kerne). Dies erleichtert Ihnen das Verständnis für die komplexe Verschaltung der Basalganglien untereinander sowie mit kortikalen, diencephalen (Thalamus) und mesenzephalen (Substantia nigra) Strukturen, die insbesondere für komplexe gelernte Bewegungen (z. B. Schreiben) von großer Bedeutung sind (s. S. 201).

8.4.1 Die Basalganglien und funktionell assoziierte Kerne

Die Basalganglien (Abb. 8.9) gehören zu den innerhalb der weißen Substanz des Endhirns gelegenen Kernen (subkortikale Nuclei). Im engeren Sinne gehören zu den Basalganglien:

- das **Striatum** aus Nucleus caudatus und Putamen sowie
- der **Globus pallidus** (= Pallidum), der ontogenetisch zum Diencephalon gehört.

Globus pallidus und Putamen werden auch als Nucleus lentiformis (Linsenkern) zusammengefasst, jedoch beinhaltet dieser Begriff funktionell und ontogenetisch unterschiedliche Strukturen.

Die als Basalganglien zusammengefassten Kerngebiete sind ein wesentlicher Teil des motorischen Systems. Sie sind in komplexe Schaltkreise eingebunden. Zu diesen Schaltkreisen gehören weitere Kerngebiete (= funktionell assoziierte Kerne der Basalganglien), nämlich der **Nucleus subthalamicus** (s.u.) und die **Substantia nigra** (s. S. 100).

Lange Zeit hat man die Basalganglien, ihre assoziierten Kerne und die zugehörigen Verschaltungen zum „extrapyramidal-motorischen System“ zusammengefasst. So hat man dieses System der Pyramiden-

bahn („pyramidal-motorisches System“) gegenübergestellt. Diese Begriffe sind streng genommen zwar unzutreffend, da die beiden Systeme strukturell und funktionell eng miteinander verzahnt sind. Dennoch haben sie sich gerade im klinischen Sprachgebrauch aufgrund der unterschiedlichen Symptomatik von Erkrankungen dieser beiden Systeme (s. S. 199) eingebürgert und werden daher auch hier weiterhin genutzt.

MERKE

Die den Basalganglien funktionell assoziierten Kerne sind Strukturen anderer Hirnanteile (Substantia nigra – Mesencephalon; Ncl. subthalamicus – Diencephalon). Auch der im reifen Gehirn eng am telencephalen Putamen gelegene Globus pallidus gehört ontogenetisch zum Diencephalon.

8.4.1.1 Das Striatum: Nucleus caudatus und Putamen

Der **Nucleus caudatus** ist ein c- oder bogenförmiger Kern, bei dem man Caput (Kopf), Corpus (Körper) und Cauda (Schwanz) unterscheidet. Das vorn gelegene Caput ist wulstförmig, Corpus und Cauda werden zunehmend schlanker. Der Kopf bildet in der Tiefe des Frontallappens den Boden und die Seitenwand des Vorderhorns vom Seitenventrikel. Das Corpus nuclei caudati liegt als mittlerer schlanker Teil lateral oben vom Thalamus im Boden des Hauptteils jedes Seitenventrikels (im Pariet-

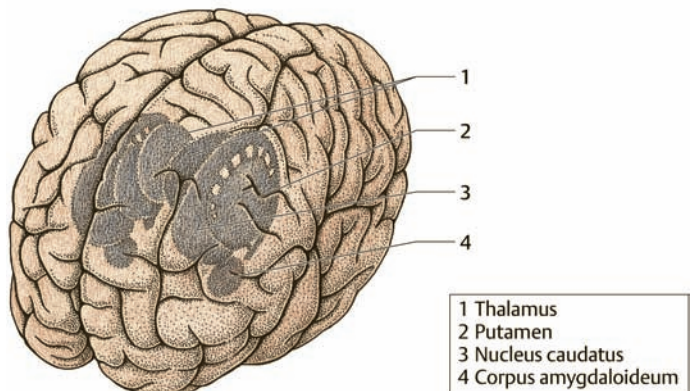


Abb. 8.9 Subkortikale Kerne und Thalamus in ihrer räumlichen Lage (vgl. auch Abb. 11.2, S. 202)

tallappen). Die sich stark verjüngende Cauda beschreibt als hinterer und unterer Teil des Kerns einen nach dorsal konvexen Bogen und liegt schließlich im Dach des Unterhorns vom Seitenventrikel (im Temporallappen). Aufgrund dieses bogenförmigen Verlaufs ist der Nucleus caudatus in Frontalschnitten durch seine Cauda zweimal angeschnitten (unten: Cauda, oben: Corpus, s. Abb. 13.5, S. 261).

Das **Putamen** hat die Form einer dicken ovalen Scheibe und liegt zwischen Globus pallidus und Claustrum (im Marklager der Inselrinde).

Die Capsula externa trennt das Putamen vom lateral gelegenen Claustrum. Medial wird das Putamen durch die dünne Lamina medullaris lateralis (oder Lamina medullaris externa) vom Globus pallidus getrennt.

Entwicklungsgeschichtlich sind Nucleus caudatus und Putamen eine einheitliche Struktur. Sie werden durch die eingewachsenen Faserbündel der Capsula interna (s. S. 162) voneinander getrennt, sind aber noch durch Nervenzellbrücken streifenförmig (daher Striatum) miteinander verbunden.

Der vordere-untere Teil des Caput nuclei caudati ist über einen unscharf begrenzten Kernkomplex, dem **Nucleus accumbens**, mit dem vorderen Teil des Putamen verbunden. Der Nucleus accumbens gehört zum ventralen Striatum (oder Paleostriatum); die übrigen Teile von Nucleus caudatus und Putamen bilden das dorsale Striatum (oder Neostriatum, hier weiterhin nur Striatum genannt). Der Nucleus accumbens gliedert sich zytoarchitektonisch in ein Kernstück und eine Schale. Er gehört, wie der Nucleus basalis, das diagonale Band und die Septumkerne (s. S. 161), zu den Kernkomplexen des **basalen Vorderhirns**.

Der Nucleus accumbens verfügt prinzipiell über die gleichen Verbindungen wie das dorsale Striatum. Er ist jedoch mit dem limbischen System besonders eng verbunden und hat zudem insbesondere Verbindungen zum präfrontalen Kortex und zur Area tegmentalis ventralis (= kleine dopaminerge Zellgruppe im Mittelhirn).

Diese Projektionen werden auch zum Suchtverhalten in Beziehung gebracht.

Das Striatum erhält *Afferenzen* aus allen kortikalen Regionen. Dabei erreichen die Axone aus dem motorischen Kortex bevorzugt das Putamen, die aus

den übrigen Kortexarealen insbesondere den Nucleus caudatus. Weitere Afferenzen stammen aus den intralaminären Thalamuskernen, aus der Substantia nigra, aus den Raphekernen der Formatio reticularis und aus dem Corpus amygdaloideum.

Die *Hauptafferenz* des Striatum verläuft zum äußeren und inneren Segment des Globus pallidus. Weitere Efferenzen ziehen zur Substantia nigra.

Beim enzymhistochemischen Nachweis von Acetylcholinesterase lassen sich im Striatum zwei Kompartimente unterscheiden. Fleckenartige Areale mit niedriger Enzymaktivität, die Striosomen, sind in eine Matrix mit hoher Enzymaktivität eingelagert. Matrix und Striosomen haben unterschiedliche Afferenzen und Efferenzen. Zu den Striosomen projizieren limbische telencephale Areale, zur Matrix im Wesentlichen die übrigen Afferenzen (s.o.). Striosomen schicken ihre Axone zur Substantia nigra; die übrigen Efferenzen (s.o.) gehen von der Matrix aus.

8.4.1.2 Der Globus pallidus

Der Globus pallidus (**Pallidum**, blasser Kern) erscheint makroskopisch deutlich heller als das angrenzende Putamen. Er ist dienzephaler Herkunft und wird während der Entwicklung durch einwachsende Fasern der Capsula interna nach lateral an das Putamen gedrängt. Durch die dünne Lamina medullaris medialis (oder Lamina medullaris interna) wird er in ein inneres und äußeres Segment geteilt (**Globus pallidus medialis** und **lateralis**). Diese beiden Teile haben unterschiedliche Faserverbindungen.

Die Hauptafferenz des Globus pallidus stammt aus dem Striatum (s.o.). Zum Globus pallidus medialis projiziert zudem die Substantia nigra (Pars compacta, s. S. 100) und der Nucleus subthalamicus (s.u.). Die Hauptmasse der Efferenzen (aus dem Globus pallidus medialis) ziehen über die Ansa lenticularis oder den Fasciculus lenticularis zu motorischen Thalamuskernen. Der Globus pallidus lateralis schickt Axone zum Globus pallidus medialis, zum Nucleus subthalamicus und zur Substantia nigra (Pars reticularis).

Die Basalganglien Striatum und Globus pallidus bilden zusammen mit dem motorischen Thalamus einen polysynaptischen Schaltkreis, die Hauptschleife der komplexen Basalganglien-Verschaltungen. Sie

beginnt und endet kortikal: Cortex cerebri → Striatum → Globus pallidus → Thalamus → Cortex cerebri.

Außerdem werden aufgrund ihrer engen Verbindungen mit dem Globus pallidus im weiteren Sinne auch die Substantia nigra und der Nucleus subthalamicus zu den Basalganglien gezählt. Wie aus den o.g. Verbindungen ersichtlich ist, bilden sie Nebenschleifen, die den Informationsfluss in der Hauptschleife modulieren können. Die ausführliche Beschreibung, die für neurologische Ausfälle z.B. bei Morbus Parkinson von Bedeutung sind, finden Sie im Kapitel „Funktionelle Systeme“ (s. S. 199).

8.4.1.3 Der Nucleus subthalamicus

Der Nucleus subthalamicus (Corpus Luysi) liegt medial vom unteren Ende der Capsula interna unter dem Thalamus. Er liegt im Übergangsgebiet zwischen Diencephalon und Mesencephalon. Daher grenzen Substantia nigra und Nucleus ruber von unten und medial an den Nucleus subthalamicus. Der Kern weist eine bikonvexe Gestalt auf und besteht im Wesentlichen aus großen glutamatergen Neuronen.

Afferenzen und Efferenzen des Nucleus subthalamicus sind ähnlich denen des Striatum. Der Nucleus subthalamicus erhält Afferenzen aus motorischen Kortexarealen (sowie aus dem Globus pallidus lateralis und projiziert zum Globus pallidus medialis und zur Substantia nigra (Pars reticularis).

Im Gegensatz zur inhibitorischen Wirkung des Striatums, ist die Projektion des Nucleus subthalamicus exzitatorisch und stellt damit ein Gegengewicht zu den strialen Axonen dar.

Klinischer Bezug

Hemiballismus: Bei dieser Bewegungsstörung treten blitzartige schleudernde Bewegungen auf, die proximal betont sind. Arme und Beine können mit Wucht gegen ein Hindernis geworfen werden. Verletzungen sind deshalb nicht selten. Die häufigste Ursache ist eine Läsion des kontralateralen Nucleus subthalamicus durch Ischämie. Durch den Wegfall der exzitatorischen Projektion des Nucleus subthalamicus in das mediale Pallidum und die Pars reticularis der Substantia nigra überwiegt in diesen Kerngebieten die inhibitorische Projektion aus dem Striatum. Dies führt zu

einer verminderten Hemmung motorischer Thalamuskern (durch das mediale Pallidum und die Pars reticularis der Substantia nigra). Daraus resultiert eine vermehrte Aktivierung motorischer Rindenfelder (durch die motorischen Thalamuskern). Diese Aktivierung kann dann das Auftreten hemiballistischer Bewegungen auf der kontralateralen Seite hervorrufen.

8.4.2 Die weiteren subkortikalen Kerne des Endhirns

Im telencephalen Marklager liegen weitere subkortikale Kerne, die aufgrund ihrer funktionellen Bedeutung separat beschrieben werden:

- das **Corpus amygdaloideum**,
- das **Clastrum** und
- der **Nucleus basalis** (Meynert).

8.4.2.1 Das Corpus amygdaloideum

Das Corpus amygdaloideum (Mandelkernkomplex, Amygdala) findet sich im vorderen Teil des Temporallappens. Es liegt vor dem Hippocampus. Mit seiner hinteren Fläche grenzt es von vorne an das Unterhorn des Seitenventrikels. Mikroskopisch lässt sich das Corpus amygdaloideum zytoarchitektonisch und funktionell in verschiedene Nuclei unterteilen. Im Wesentlichen wird eine oberflächliche (**kortikomediale**) und tiefe (**basolaterale**) Kerngruppe unterschieden (Abb. 8.10).

Die verschiedenen Kerne des Corpus amygdaloideum sind untereinander komplex verschaltet, wodurch eine intraamygdaläre Informationsverarbeitung ermöglicht wird. Die oberflächlichen (kortikomedialen) Kerne haben hauptsächlich reziproke Verbindungen mit den olfaktorischen kortikalen Arealen. Die tiefen (basolateralen) Kerne erhalten Afferenzen aus sensorischen Assoziationsarealen (auditorisch, visuell, gustatorisch, somatosensorisch/-sensibel). Sie projizieren in diese Kortexareale zurück und zum mediodorsalen Thalamuskern. Über Letzteren erreichen Signale aus dem Corpus amygdaloideum den präfrontalen Kortex. Diese Projektion könnte für höhere kognitive Leistungen (z.B. Lernen) und für Motivationen von Bedeutung sein.

Der Mandelkernkomplex projiziert auch zum Striatum; eine Projektion, die für die Ausführung emotionsbedingter Bewegungen (z.B. Schreckreaktion

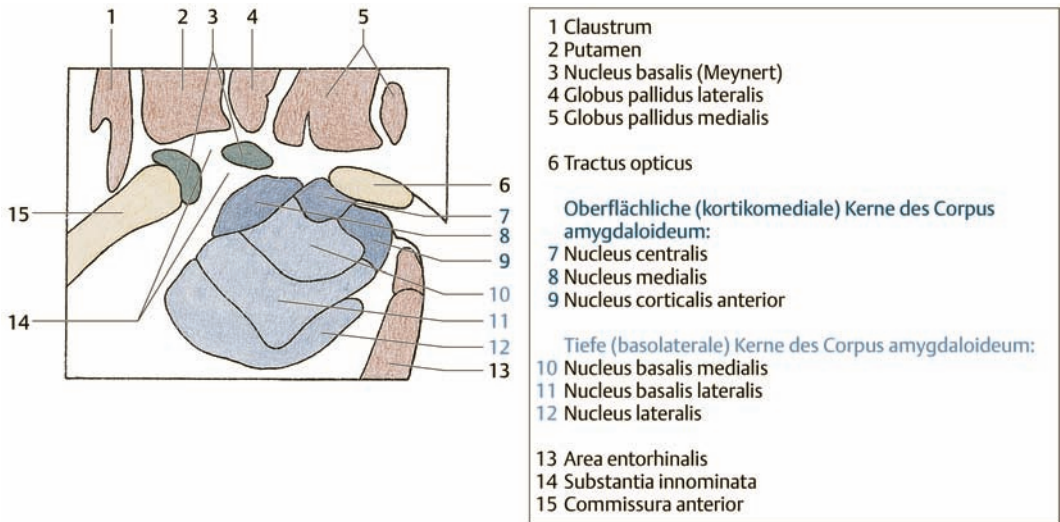


Abb. 8.10 Kerne des Corpus amygdaloideum im Frontalschnitt mit angrenzenden Basalganglien

beim Anblick einer Spinne) eine Rolle spielt. Ausgeprägte, z. T. reziproke Verbindungen bestehen zum Hypothalamus. Die Fasern verlaufen dabei über die Ansa peduncularis und über die Stria terminalis. Durch die Stria medullaris (über die Nuclei habenulares) hat das Corpus amygdaloideum Verbindungen mit vegetativen Hirnstammzentren.

Über die Verbindungen mit dem Hypothalamus und dem Hirnstamm kann das Corpus amygdaloideum emotionale vegetative Reaktionen hervorrufen, wie Blutdruckanstieg, Aufmerksamkeit u. ä.

Beim Menschen steht wohl noch eine Funktion, die für den Mandelkernkomplex spezifisch ist, im Vordergrund. Der Mandelkernkomplex scheint für die Interpretation von Gesichtsausdrücken von großer Bedeutung zu sein. So wird z. B. das Erkennen von Furcht im Gesichtsausdruck ermöglicht.

8.4.2.2 Das Claustrum

Das Claustrum (Vormauer) liegt als dünne Scheibe grauer Substanz lateral vom Putamen und medial von der Inselrinde.

Sein unteres Ende ist etwas dicker. Es hat vielfältige reziproke Verbindungen mit kortikalen Arealen. Zur funktionellen Bedeutung des Claustrum ist wenig bekannt (evtl. z. B. Beteiligung bei Stressverhalten).

8.4.2.3 Der Nucleus basalis (Meynert) und die Substantia innominata

Unterhalb des Globus pallidus und des Putamen und oberhalb des Corpus amygdaloideum liegt in Nachbarschaft zur Commissura anterior das unscharf begrenzte Areal der Substantia innominata (**Abb. 8.10**). Ihre meist cholinergen Neurone sind locker angeordnet. Innerhalb der Substantia innominata bilden dicht gepackte cholinerge Neurone den gut abgrenzbaren Nucleus basalis (Meynert). Die cholinergen Neurone projizieren zum gesamten Cortex cerebri und zum Corpus amygdaloideum. Die cholinerge Innervation der Endhirnrinde (extrathalamische Afferenzen) ist wesentlich für die selektive Aufmerksamkeit und für das Lernen verantwortlich. Sie fördert die Speicherung von Informationen und Erinnerungsprozesse.

Klinischer Bezug

Morbus Alzheimer: Bei dieser Form der Demenz kommt es zu einem ausgeprägten Untergang der cholinergen Neurone im Nucleus basalis Meynert. Daher wird therapeutisch der Versuch unternommen, durch Gabe eines Hemmstoffs der Acetylcholinesterase (→ Anstieg der AcetylcholinKonzentration im synaptischen Spalt) eine Verbesserung der kognitiven Fähigkeiten zu erreichen.

8.4.2.4 Die Nuclei septales

Die Nuclei septales (auch Septum verum oder Area septalis) liegen unterhalb des Septum pellucidum und vor der Commissura anterior im oberen Teil des Gyrus paraterminalis. Unterhalb der Nuclei septales liegt der vertikale Schenkel des diagonalen Bandes (von Broca), der dann in den nach lateral ausgerichteten horizontalen Schenkel des diagonalen Bandes übergeht. Die Septumkerne und das diagonale Band enthalten große GABAerge und cholinerge Neurone, die z.B. zum Hippocampus projizieren.

Die Nuclei septales sind im olfaktorischen, vegetativen und limbischen System eingeschaltet (s. z.B. S. 227).

Der horizontale Arm des diagonalen Bandes geht ohne scharfe Grenze in die Substantia innominata mit dem Nucleus basalis (Meynert) über.



Check-up

- ✓ Rekapitulieren Sie Nomenklatur und topographische Beziehungen der Basalganglien.
- ✓ Machen Sie sich noch einmal klar, wo das Corpus amygdaloideum liegt und mit welchen Strukturen es in Verbindung steht.

8.5 Die weiße Substanz des Endhirns



Lerncoach

Die weiße Substanz enthält Nervenfaserbündel, die mit dem Kortex in Verbindung stehen. Beachten Sie bei der folgenden systematischen Darstellung, was jeweils miteinander verknüpft wird.

8.5.1 Die Einteilung der Fasersysteme

Unter der Endhirnrinde und zwischen den Endhirnernen befindet sich die weiße Substanz (Substantia alba, das Marklager) des Telencephalon. Sie besteht aus drei Fasersystemen, die mit dem Cortex cerebri verbunden sind:

- **Assoziationsbahnen** verbinden verschiedene Kortexbezirke derselben Hemisphäre.
- **Kommissurenbahnen** verbinden korrespondierende Kortexareale der beiden Hemisphären.
- **Projektionsbahnen** verbinden Kortexareale mit anderen Teilen des Gehirns oder Rückenmarks.

Man unterscheidet dabei **kortikofugale** Fasern, die von der Endhirnrinde zu tiefergelegenen Hirnstrukturen ziehen und **kortikopedale** Fasern mit umgekehrter Verlaufsrichtung.

8.5.2 Die Assoziationsbahnen

Nach der Länge und dem Verlauf der Assoziationsbahnen/-fasern werden unterschieden:

- **Fibrae arcuatae breves:** verbinden benachbarte Windungen miteinander; verlaufen bogenförmig und liegen dicht unter der Endhirnrinde.
- **Fibrae arcuatae longae:** längere Fasern, die eine (oder mehrere) Windungen überspringen.

Die folgenden Assoziationsbahnen (Abb. 8.11) verlaufen zwischen den Lappen des Gehirns und sind gut zu präparieren (Faserpräparate):

- **Fasciculus longitudinalis superior:** zieht zwischen Frontal- und Okzipitallappen mit Fasern zum Parietal- und Temporallappen; verläuft lateral vom Putamen (in der Capsula externa)
- **Fasciculus longitudinalis inferior:** verbindet den Okzipitalpol mit dem Temporallappen; verläuft lateral von der Radiatio optica
- **Fasciculus uncinatus:** verläuft zwischen Stirn- und Schläfenlappen (vorderer Teil)
- **Cingulum:** verbindet den Lobus frontalis mit dem Lobus parietalis (und weiter bis zum Gyrus parahippocampalis); verläuft im Mark des Gyrus cinguli bogenförmig um den Balken
- Fasciculus occipitofrontalis superior
- Fasciculus occipitofrontalis inferior.

8.5.3 Die Kommissurenbahnen

Das **Corpus callosum** (Balken) stellt die weitaus größte Kommissurenbahn dar. Am Medianschnitt des Gehirns unterscheidet man von anterior nach posterior folgende Abschnitte des Balkens: Genu, Rostrum, Truncus und Splenium corporis callosi. In Faserpräparaten verlaufen die Fasern im Mittelteil des Balkens transversal, vorne und hinten verlaufen sie bogen- oder z.T. u-förmig frontal- bzw. okzipitalwärts: Forceps frontalis (minor) und Forceps occipitalis (major). Als Tapetum bezeichnet man bogenförmige Balkenfasern, die in die Seitenwand von Unter- und Hinterhorn herabziehen.

Die **Commissura anterior** verbindet vornehmlich vordere und mittlere Teile der beiden Temporallappen. Auf einem Medianschnitt grenzt die elliptische

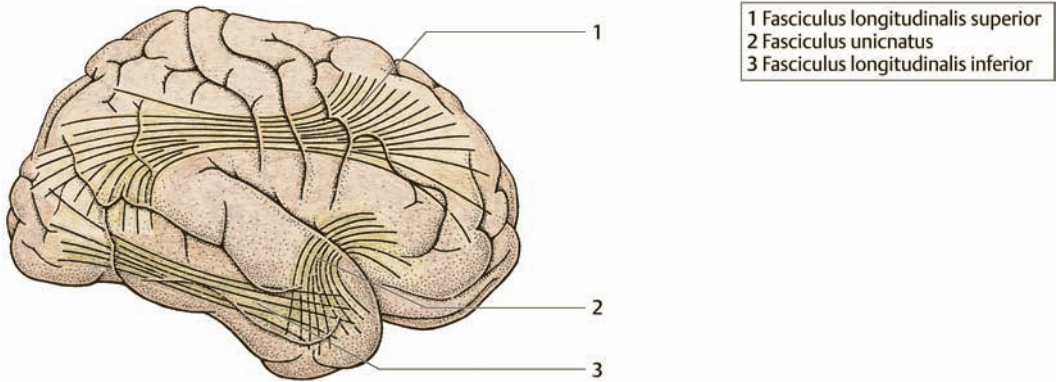


Abb. 8.11 Große Assoziationsbahnen des Endhirns

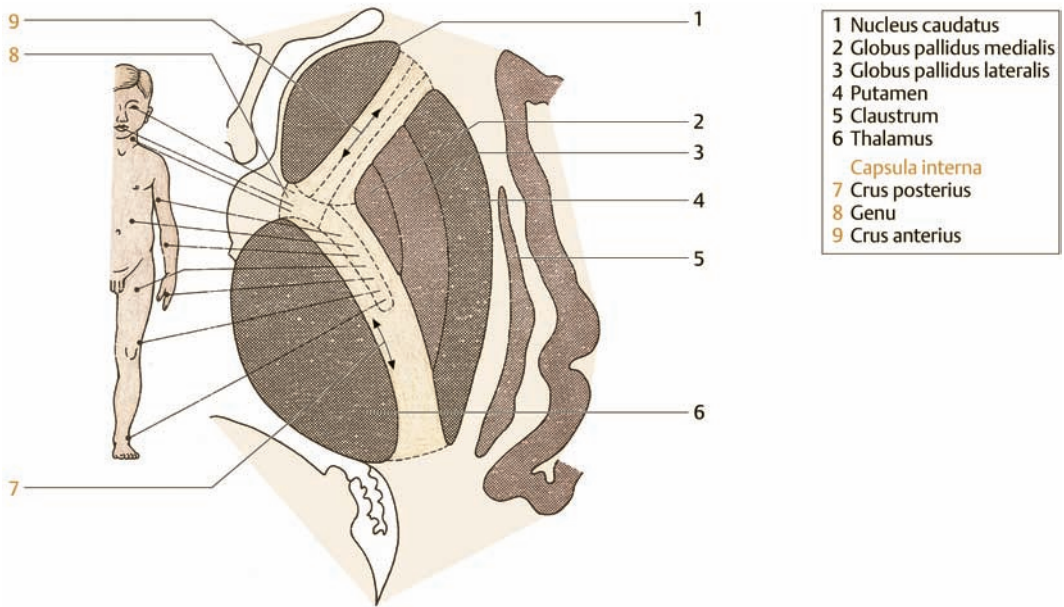


Abb. 8.12 Horizontalschnitt durch die Capsula interna mit Projektion der somatotopisch angeordneten Pyramidenbahnfasern

Commissura anterior, oben an das Rostrum corporis callosi und unten an die Lamina terminalis. Auf Frontalschnitten liegt sie streifenförmig unter Globus pallidus und Putamen und biegt weiter lateral nach hinten um.

Die **Commissura fornicis** liegt zwischen den Fornixschenkel (Crura fornicis). Hier kreuzen Fasern aus dem Hippocampus zur Gegenseite. Sie bilden eine dünne Platte, die an der Unterseite des Balkens liegt.

8.5.4 Die Projektionsbahnen

Die **Capsula interna** (innere Kapsel, **Abb. 8.12**) liegt zwischen Nucleus caudatus, Thalamus (medial), Globus pallidus und Putamen (lateral). Auf Horizontalschnitten erscheint die Capsula interna wie ein nach lateral stumpfer Winkel, mit einem vorderen Schenkel (**Crus anterior** zwischen Caput nuclei caudati und Nucleus lentiformis = Globus pallidus und Putamen) und einem hinteren Schenkel (**Crus**

Tabelle 8.2

Capsula interna	
Anteil	Fasersystem
Crus anterior	– Tractus frontopontinus – Radiatio anterior thalami*
Genu	– kortikonukleäre Fasern (zu den motorischen Hirnnervenkernen) der Pyramidenbahn
Crus posterior	– kortikospinale Fasern der Pyramidenbahn in somatotopischer Ordnung: – obere Extremität (vorne) – Rumpf (Mitte) – untere Extremität (hinten) – Fibrae corticorubrales – Fibrae corticoreticulares – Fibrae parietopontinae – Radiatio centralis thalami* – Radiatio inferior thalami*
Pars sublentiformis	– Radiatio acustica (Hörstrahlung: vom Corpus geniculatum mediale zu den Gyri temporales transversi = Heschl-Querwindungen, s. Hörbahn S. 214) – Fibrae temporo-pontinae – Fibrae corticotectales
Pars retrolentiformis	– Fibrae occipitopontinae – Fibrae occipitotectales – Radiatio optica (Sehstrahlung: vom Corpus geniculatum laterale zur Area striata im Lobus occipitalis, s. Sehbahn, S. 210) – Radiatio posterior thalami *

* Radiationes thalami = aufsteigende thalamokortikale Projektionen

posterior). Die beiden Schenkel gehen am Knie (**Genu**) ineinander über. Okzipitalwärts spaltet sich die Capsula interna in einen unter und einen hinter dem Linsenkern gelegenen Teil (Pars sub- und retrolentiformis).

In der Capsula interna verlaufen dichtgepackt kortikofugale und kortikopedale (also ab- und aufsteigende) Bahnen. Dabei können den einzelnen Bahnen ganz bestimmte Abschnitte der inneren Kapsel zugeordnet werden (**Tab. 8.2**).

Als **Corona radiata** wird allgemein der Faserfächer zur Capsula interna hin bezeichnet (auf- und absteigende konvergierende Fasern).

Zwischen ihren Fasern findet sich stellenweise graue Substanz (s. Striatum, S. 201).

Die **Capsula externa** und die **Capsula extrema** (medial und lateral des Claustrum gelegen) enthalten nur wenige Projektionsfasern, die dann zur Capsula interna ziehen, sowie Assoziationsfasern.

Eine weitere Projektionsbahn ist der Fornix (s. S. 135).



Check-up



Rekapitulieren Sie unbedingt die topographische Anordnung der Projektionsbahnen innerhalb der Capsula interna.

8.6 Der Hippocampus



Lerncoach

In diesem Kapitel lernen Sie den Hippocampus kennen, der Lernen und Gedächtnisbildung ermöglicht. Lassen Sie sich nicht verwirren, wenn Sie auf Begriffe stoßen, die auch beim Kleinhirn vorkommen – die hier beschriebenen Strukturen haben eine ganz andere Bedeutung.

Zum Hippocampus gehören der **Gyrus dentatus**, das **Cornu ammonis** (CA) und das **Subiculum**. Hippocampus und Area entorhinalis werden auch unter dem Begriff „Hippokampusformation“ zusammengefasst. Daneben existieren noch andere Einteilungen.

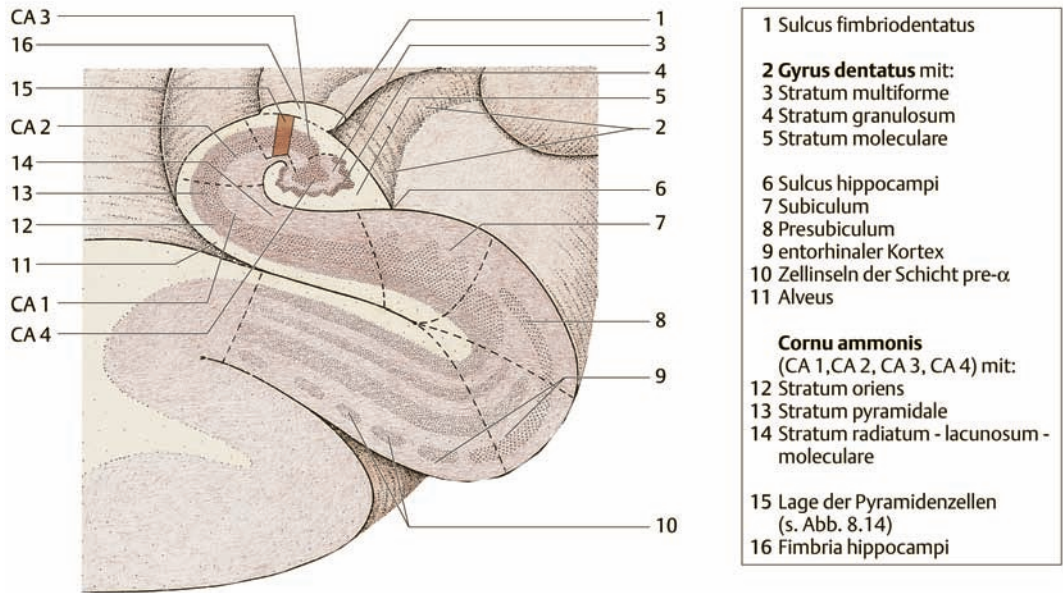


Abb. 8.13 Hippokampusformation

Sie liegt in der Tiefe des Temporallappens, wird weitgehend vom Gyrus parahippocampalis überlagert und erstreckt sich entlang des Cornu inferius des Seitenventrikels.

8.6.1 Das Cornu ammonis

Das vordere Ende des Cornu ammonis erscheint als tatzenförmige Struktur (**Pes hippocampi**) mit kral-lenförmigen Ausstülpungen (**Digitationes hippocampi**).

Histologisch ist das Cornu ammonis ein Zellband, das C-förmig angeordnet ist (Abb. 8.13). Es lässt sich in vier Sektoren einteilen: CA1, CA2, CA3, CA4. Das Zellband lässt sich, wie auch die beiden anderen Bestandteile des Hippocampus, in folgende Schichten gliedern:

- **Stratum oriens** (mit den basalen Dendriten der Pyramidenzellen, mit Korbzellen, s. u.),
- **Stratum pyramidale** (mit den Zellkörpern der Pyramidenzellen),
- **Stratum radiatum** und
- **Stratum lacunosum** mit **Substratum moleculare** (zusammen auch als Stratum lacunosum-moleculare bezeichnet). Hier liegen – wie auch im Stratum radiatum – die apikalen Dendriten der Pyramidenzellen, weshalb man auch insgesamt

vom Stratum radiatum-lacunosum-moleculare spricht.

Die Dendriten der Pyramidenzellen weisen einen dichten Besatz mit Dornen auf (Abb. 8.14), an denen Afferenzen Synapsen bilden. Die verschiedenen Afferenzen endigen an spezifischen Abschnitten des Dendritenbaumes, z. B.

- im Stratum oriens: Fasern aus den Nuclei septales (s. S. 161)
- im Stratum radiatum: Assoziationsfasern aus CA3 (Schaffer-Kollateralen)
- im Stratum lacunosum-moleculare: Kommissurenfasern aus dem kontralateralen Hippocampus (im Stratum lacunosum) und Fasern aus der Area entorhinalis (an den distalen Dendritenabschnitten im Substratum moleculare).

Im Cornu ammonis finden sich auch inhibitorische Interneurone, z. B. Korbzellen, die im Stratum pyramidale hemmende Synapsen an Pyramidenzellen bilden.

Bevor die Axone der Pyramidenzellen der CA3-Region den Hippocampus verlassen, geben sie Kollateralen ab. Diese sog. **Schaffer-Kollateralen** enden an den Dendriten der Pyramidenzellen der CA1-Region (Assoziationsfasern).

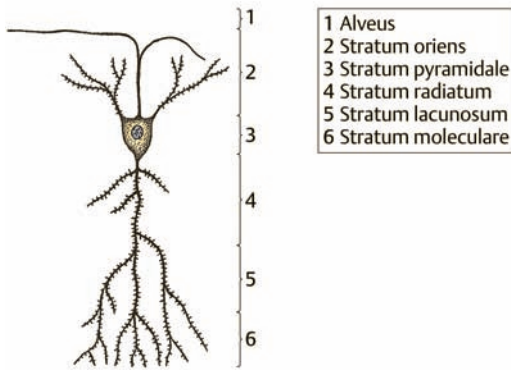


Abb. 8.14 Pyramidenzellen aus dem Ammonshorn

8.6.2 Der Gyrus dentatus

Der Gyrus dentatus erscheint nur mit einem geringen Teil an der Hirnoberfläche. Hier liegt er (mit Kerben und Erhebungen) zwischen Sulcus hippocampi (Abgrenzung zum Gyrus parahippocampalis) und Sulcus fimbriodentatus (Abgrenzung zur Fimbria hippocampi = Fimbria fornicis).

Das Zellband des Gyrus dentatus (oder Fascia dentata) umgreift die CA4-Region des Cornu ammonis. Die Schichten des Gyrus dentatus sind:

- **Stratum moleculare** (mit den Dendriten der Körnerzellen)
- **Stratum granulosum** (mit den Zellkörpern der Körnerzellen)
- **Stratum multiforme** (auch Hilum, geht ohne scharfe Grenze in die CA4-Region über).

An den distalen Dendritenabschnitten der Körnerzellen endigen ein Großteil der Fasern aus der Area entorhinalis und inhibitorische Kommissurenfasern. Exzitatorische Kommissurenfasern bilden Synapsen an proximalen Abschnitten der Dendriten. Die Axone der Körnerzellen bilden das Moosfasersystem; sie enden in der CA3-Region. Die Synapsen der Moosfasern liegen zwischen den Strata pyramidale und radiatum in einer auf die CA3-Region begrenzten Schicht, die als Stratum lucidum bezeichnet wird.

8.6.3 Das Subiculum

Das Subiculum (inkl. Presubiculum) liegt zwischen Area entorhinalis und Cornu ammonis. Es erhält Afferenzen aus der CA1-Region und kortikalen As-

soziationsarealen; seine Efferenzen bilden einen wesentlichen Teil des Fornix (s.u.).

8.6.4 Die Area entorhinalis

Die Area entorhinalis (= entorhinale Rinde) liegt an Teilen des Gyrus ambiens und an Teilen des Gyrus parahippocampalis (s. Abb. 8.13).

Am Sulcus rhinalis liegt die Grenze zwischen entorhinalem Allokokortex und perirhinalem Isokortex. Histologisch befindet sich hier eine Übergangsregion (transentorhinaler Kortex).

Eine zytoarchitektonische Besonderheit der entorhinalen Rinde sind die Schichten pre- α und pre- β (Schicht II und III), die die glutamatergen Ursprungsneurone des Tractus perforans (s.u.) enthalten. Letzterer durchbricht das Subiculum und endet an den Körnerzellen des Gyrus dentatus (sowie an den Pyramidenzellen von CA1–CA3). Somit ist die Area entorhinalis als Tor zum Hippocampus aufzufassen.

Seine Afferenzen erhält die Area entorhinalis aus dem olfaktorischen System und vor allem aus isokortikalen Assoziationsarealen.

In der Schicht pre- α liegen Zellinseln, die an der Hirnoberfläche makroskopisch als warzenförmige Erhebungen sichtbar sind.

8.6.5 Die Erregungsausbreitung und die Verbindungen des Hippocampus

Die komplexen Verschaltungsmuster im Hippocampus (s.a. unter 8.6.2) sind das morphologische Korrelat für die Bildung von Gedächtnisinhalten, d.h. sie ermöglichen das Lernen und Integrieren von neuen Informationen.

Afferenzen aus der Area entorhinalis ziehen im **Tractus perforans**, der das Subiculum durchbricht, zum Gyrus dentatus. Dort werden die Körnerzellen aktiviert, die wiederum über die Moosfasern die CA3-Pyramidenzellen erregen. Letztere wirken schließlich über die Schaffer-Kollaterale exzitatorisch auf die CA1-Pyramidenzellen. An allen drei Umschaltstellen dieses **trisynaptischen Erregungsweges** im Hippocampus ist Glutamat der Neurotransmitter.

Auf dem Stratum oriens des Cornu ammonis findet sich der **Alveus**, der unter dem Ependym des Seitenventrikels liegt. Im Alveus verlaufen neben afferenten Fasern (z.B. aus der Area septalis) die **Effe-**

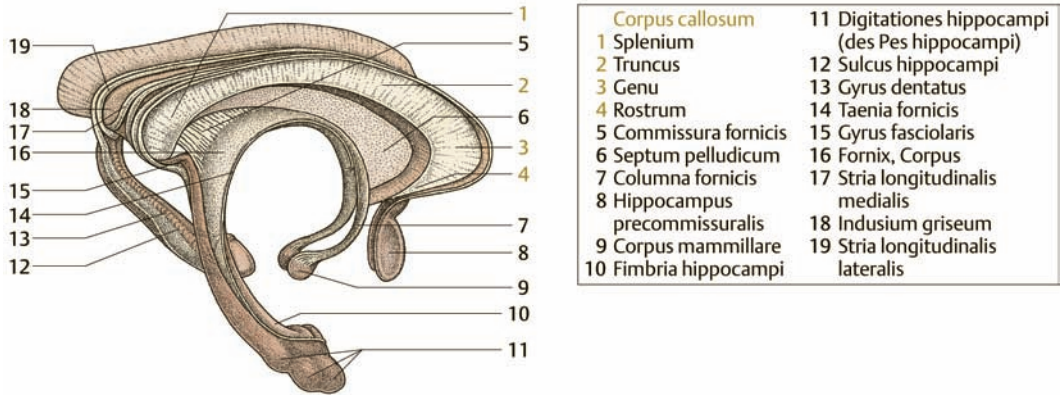


Abb. 8.15 Dreidimensionale Darstellung des Hippocampus mit Fornix und Balken

renzen, also die Axone der Pyramidenzellen. Die Faserbündel des Alveus gehen in die Fimbria hippocampi (= Fimbria fornicis) über (s.u.). Sie ist der Beginn des Fornix und liegt oben-medial auf dem Hippocampus.

Die Fimbria löst sich auf Höhe des Splenium corporis callosi vom Hippocampus und geht so in das **Crus fornicis** über, das einen nach dorsal gerichteten Bogen bildet. Am dünnen seitlichen Rand des Fornix (Taenia fornicis) ist der Plexus choroideus des Seitenventrikels befestigt. Zwischen den Crura fornicis findet sich an der Balkenunterfläche die flache **Commissura fornicis**. Die beiden Crura konvergieren zur Mittellinie und vereinigen sich unter dem Truncus corporis callosi zum **Corpus fornicis**. Im Bereich des Foramen interventriculare trennen sich rechter und linker Fornix wieder. Sie lösen sich vom Balken ab und ziehen als **Columnae fornicis** (größtenteils von der grauen Substanz des Hypothalamus bedeckt) im Bogen nach unten an die Commissura anterior. Hier teilen sich die Fornixfasern in

- einen schwächeren **präkommissuralen Anteil** zur Area septalis und zum vorderen Hypothalamus
- einen stärkeren **postkommissuralen Anteil** zum Corpus mammillare.

MERKE

Die Mehrzahl der im Fornix verlaufenden Fasern stammt aus dem Hippocampus (hippokampale Efferenzen), jedoch führt der Fornix auch einige Afferenzen (z. B. aus der Septumregion) zum Hippocampus.



Check-up

- ✓ **Machen Sie sich nochmals die Funktionen des Hippocampus klar.**
- ✓ **Wiederholen Sie, was der Tractus perforans ist.**
- ✓ **Rekapitulieren Sie die Abschnitte des Fornix.**

Kapitel 9



Hüllen des ZNS und Liquorsystem

- 9.1 Der Überblick 169
- 9.2 Die Meningen 169
- 9.3 Das Liquorsystem 172
- 9.4 Die Blut-Liquor-Schranke, die Blut-Hirn-Schranke und die zirkumventrikulären Organe 177

Aus heiterem Himmel



Schädel-CT bei Subarachnoidalblutung: Die Blutansammlung in der präpontinen Zisterne stellt sich hyperdens dar.

Je nach Lokalisation von Blutungen aus Gefäßen, die in Beziehung zu den Hirnhäuten stehen, können drei Krankheitsbilder unterschieden werden:

1. Das Epiduralhämatom ist eine Blutung zwischen Dura mater und Schädelknochen.
2. Beim Subduralhämatom blutet es zwischen der Dura mater und der Arachnoidea.
3. Subarachnoidalblutungen betreffen den Raum zwischen dem inneren (Pia mater) und dem äußeren (Arachnoidea mater) Blatt der weichen Hirnhaut. Während Subduralhämatome in einer akuten und chronischen Form auftreten können und nicht immer notfallmäßig behandelt werden müssen, stellen Epiduralhämatome und Subarachnoidalblutungen absolute Notfallindikationen dar.

Plötzlicher Schmerz

Der Urlaub kommt wie gerufen. Bei Susanna S. haben sich mittlerweile 52 Überstunden angesammelt und das Telefon klingelt ununterbrochen. Dazu sitzt ihr auch noch ihr Chef wegen einer dringenden Angelegenheit im Nacken. Eines ist klar: Susanna S. braucht Pause. Zwei Tagen muss sie noch durchhalten, bis sie in den Flieger nach Buenos Aires steigen und erst mal alles vergessen kann.

„Sssss, aua“, zischt Susanna vor Schmerz, als sie ihren Koffer öffnet, um ihn für den Urlaub zu packen. „Was ist denn los?“ fragt ihr Freund Peter besorgt. Doch Susanna antwortet nicht. Der Schmerz, den sie gerade

im Hinterkopf und Nacken verspürt, ist so heftig, dass sie keinen klaren Gedanken mehr fassen kann. Sie muss sich sofort setzen. Schweißperlen stehen auf ihrer Stirn, ihre Hände sind ganz nass vor Schweiß und ihr Herz rast wie verrückt. Mehr noch: Der Schmerz im Hinterkopf wird schlimmer. Peter bekommt Angst um seine Freundin: Er ruft sofort den Notarzt.

Erbrechen und Bewusstseinsstörung

Als das Rettungsteam eintrifft, findet es die Patientin bleich auf der Couch liegend. „Sie hat mehrmals erbrochen“, berichtet ihr Freund. Susanna S. reagiert zwar auf Ansprache, doch ihr Bewusstsein ist eingetrübt. Auf komplexe Fragen gibt die Patientin keine klaren Antworten. Als der Notarzt ihren Kopf hebt, schreit die Frau vor Schmerzen auf und ihr Nacken ist steif.

Verdacht: Blutung

In der Klinik fordert der Oberarzt Dr. Frank sofort eine zerebrale Computertomographie an. Er zieht diese Untersuchung der Magnetresonanztomographie vor, weil sie schnell geht und frisches Blut im CT gut sichtbar ist. Als er die fertigen Bilder betrachtet, sieht der erfahrene Arzt gleich, was er befürchtet hat: Besonders deutlich sieht man das sich hyperdens darstellende Blut in der präpontinen Zisterne: ein typischer CT-Befund bei einer Subarachnoidalblutung. Als Akutmaßnahme verordnet Dr. Frank strikte Bettruhe, eine regelmäßige Kontrolle des Blutdrucks und den Kalziumantagonisten Nimodipin. Gemeinsam mit einem Neuroradiologen sucht der Neurologe mittels Katheterangiographie die Blutungsquelle und werden bald fündig: Schuld war ein sackförmiges Aneurysma in der Arteria communicans anterior des Circulus arteriosus Willisii, eine Gefäßausstülpung, die durch einen invasiven Eingriff aus der Zirkulation ausgeschaltet werden muss.

Glück gehabt

Susanna S. hat Glück: Sie gehört zu dem Drittel der Patienten, die eine Subarachnoidalblutung ohne schwere Folgen überstehen. Zwar musste die 32-Jährige noch 10 Tage zur Überwachung auf der Intensivstation bleiben und den Kalziumantagonisten zur Vorbeugung eines Vasospasmus weiter nehmen. Diese gefürchtete Komplikation konnte jedoch glücklicherweise in der täglichen Kontrolle ihrer Hirngefäße mittels Doppler-Sonographie nicht nachgewiesen werden. Nach vier Wochen kann Frau S. das Krankenhaus verlassen. Doch den Südamerika-Urlaub wird sie erst mal verschieben ...

9 Hüllen des ZNS und Liquorsystem

9.1 Der Überblick

Sowohl das Gehirn als auch das Rückenmark werden von den Hirnhäuten (**Meningen**) umgeben, bei denen man die äußere **harte** Hirnhaut (**Dura mater**) von der inneren **weichen** Hirnhaut unterscheidet. Letztere besteht aus zwei Blättern (**Arachnoidea** und **Pia mater**), zwischen denen ein mit **Liquor cerebrospinalis** („Hirnwasser“) gefüllter Spaltraum liegt. Dieser **Subarachnoidalraum** bildet den **äußeren** Liquorraum und steht mit dem **inneren** in Verbindung, der aus den **vier Ventrikeln** des Gehirns und dem **Zentralkanal** im Rückenmark besteht. In den vier Ventrikeln wird der Liquor kontinuierlich von den Plexus choroidei gebildet, zirkuliert über den vierten Ventrikel bis zum Subarachnoidalraum und tritt dort ins Blut über (Resorption). Der Liquor des Subarachnoidalraums bietet gewissermaßen einen mechanischen Schutz, indem Gehirn und Rückenmark darin schwimmen und somit z.B. Erschütterungen nicht so stark ausgesetzt sind. Im Ventrikelsystem dient der Liquor v.a. der inneren Stabilisierung des Gehirns.

9.2 Die Meningen



Lerncoach

Die Hüllen, die das Gehirn umgeben, gleichen in ihrem Aufbau denen des Rückenmarks. Unterschiede bestehen teilweise hinsichtlich ihrer Anordnung. Machen Sie sich diese Unterschiede klar und achten Sie dabei auf die Räume, die durch die Anordnung der Meningen entstehen.

9.2.1 Die Einteilung der Meningen

Gehirn und Rückenmark sind von den Meningen umhüllt. Dabei unterscheidet man von außen nach innen:

- Dura mater (= **Pachymeninx**, harte Hirn- bzw. Rückenmarkshaut)
- Arachnoidea mater
- Pia mater (**Abb. 9.1**)

Arachnoidea und Pia mater werden zur **Leptomeninginx** (weiche Hirn- bzw. Rückenmarkshaut) zusammengefasst.

9.2.2 Die Pachymeninx (Dura mater)

Die Dura mater (= Pachymeninx) ist eine reißfeste Platte aus straffem geflechtartigen Bindegewebe mit hirnwärts aufgelagerten epithelähnlichen Meningealzellen (Duraneurothel).

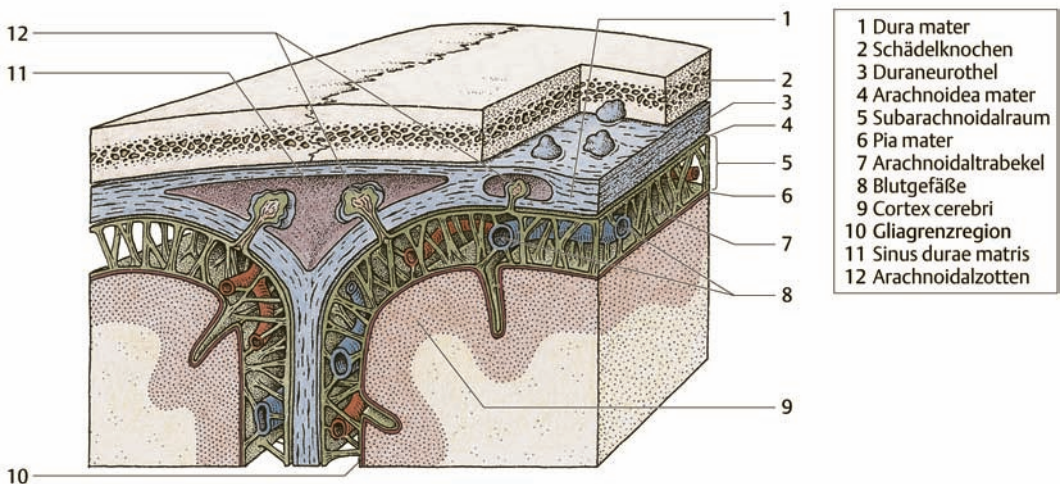


Abb. 9.1 Darstellung der Meningen am Frontalschnitt durch das Schädeldach

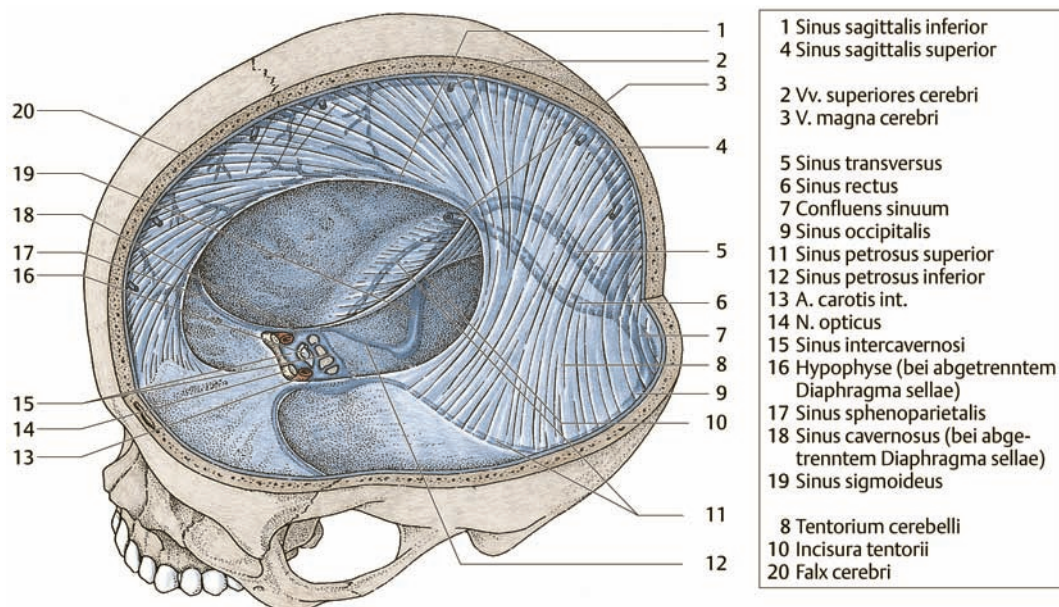


Abb. 9.2 Auskleidung der Schädelhöhle durch die harte Hirnhaut (Dura mater) in der Ansicht von lateral nach Entfernung des rechten Schädeldachs. Zu den einzelnen hier mit dargestellten Sinus durae matris s. S. 193.

9.2.2.1 Die Dura mater cranialis

Innerhalb des Schädels ist die Dura mater auf dem Periost der Schädelknochen fest verwachsen. An einigen Stellen spaltet sie sich in zwei Blätter (Lamina interna und Lamina externa). Dadurch entstehen an definierten Stellen längliche Hohlräume, die **Sinus durae matris**, die von Endothel ausgekleidet sind. In den Sinus wird venöses Blut aus Gehirn und Hirnhäuten gesammelt und zur V. jugularis interna geleitet (s. S. 193). Zudem bildet die Lamina interna der Dura mater an einigen Stellen Septen (Platten), die weit in den Schädelinnenraum vorspringen und ihn unterteilen. Dadurch werden Bewegungen der weichen Hirnmasse gedämpft. Im einzelnen sind dies folgende Strukturen:

- **Falx cerebri** (Großhirnsichel): Dies ist eine sichelförmige Duraplatte in der Medianebene (Abb. 9.2). Sie liegt in der Fissura longitudinalis cerebri zwischen den beiden Endhirnhemisphären und dringt bis zum Balken vor. Vorne ist die Falx cerebri an der *Crista galli* und an der *Crista frontalis*, hinten an der *Protuberantia occipitalis interna* fixiert. Oben ist sie im gesamten Verlauf an den Rändern des Sulcus sinus sagittalis superior befestigt.

Im Bereich der hinteren Schädelgrube verbreitert sich die Falx cerebri und läuft flügel förmig in das Tentorium cerebelli aus. Die Falx cerebri enthält in ihrem oberen Rand den Sinus sagittalis superior, in ihrem freien unteren Rand den Sinus sagittalis inferior.

- **Tentorium cerebelli** (Kleinhirnzelt): Es spannt sich zwischen Kleinhirn und Okzipitallappen aus und ist an der *Protuberantia occipitalis interna*, an den Rändern des Sulcus sinus transversus, an der Oberkante der Felsenbeinpyramide sowie (vorne-seitlich) an den *Processus clinoidei* befestigt. Vorne findet sich im Tentorium cerebelli eine weite Öffnung, die **Incisura tentorii**, in der das Mesencephalon liegt. Die Incisura tentorii liegt somit auf gleicher Höhe wie der Nucleus ruber.

Klinischer Bezug

Obere Einklemmung: Bei einem intrakraniellen Druckanstieg (z.B. durch ein Hirnödem) kann es zu einer Verlagerung und Einklemmung von Teilen des Temporallappens im Tentoriumschlitz kommen, was zu einer Kompression des Mittelhirns führt (obere Ein-

klemmung; bei anhaltendem Druck kann es zusätzlich zur unteren Einklemmung, d.h. Verlagerung der Kleinhirntonsillen in das Foramen magnum und damit Kompression der Medulla oblongata kommen). Die Folge sind von rostral nach kaudal fortschreitende Schädigungen von Strukturen im Hirnstamm. Dies ist aufgrund der Lage von Kreislauf- und Atemzentrum im Hirnstamm lebensbedrohlich.

- **Falx cerebelli** (Kleinhirnsichel): Dieses kurze Durablatt hinten zwischen den beiden Kleinhirnhemisphären ist an der Crista occipitalis interna befestigt.
- **Diaphragma sellae**: Das horizontale Duraseptum spannt sich über der Fossa hypophysialis zwischen den beiden vorderen und den beiden hinteren Processus clinoidei aus. In der Mitte des Diaphragma sellae findet sich ein Loch für den Durchtritt des Hypophysenstiels.
- **Cavum trigeminale** (Meckel; für das Gangliotrigeminale, s. S. 62).

9.2.2.2 Die Dura mater spinalis

Die das Rückenmark umgebende Dura mater innerhalb des Wirbelkanals ist nicht mit der knöchernen Wand verwachsen. Dadurch entsteht hier ein Epiduralraum (**Spatium epidurale**), der mit Fettgewebe und einem dichten Venenplexus (s. S. 193) ausgefüllt ist.

MERKE

Ein Epiduralraum ist physiologischer Weise nur kaudal des Foramen magnum vorhanden während innerhalb des Schädels die Dura mit dem Periost verwachsen ist.

Klinischer Bezug

Epiduralhämatom: Zu einer Ablösung der Dura von der Schädelkalotte kommt es nur infolge arterieller Blutungen aus der A. meningea media (s. S. 172) mit Ausbildung eines Epiduralhämatoms. Je schneller operiert und das blutende Gefäß unterbunden wird, desto besser die Prognose.

Subduralhämatom: Zum subduralen Hämatom kommt es durch eine Ruptur von Brückenvenen (s. S. 191). Es liegt dann eine venöse Blutung zwischen Dura und Arachnoidea vor, d.h. die Arachnoi-

dea hebt sich an der Stelle der Blutung von der Dura ab. Das akute subdurale Hämatom entwickelt sich innerhalb von Stunden nach einem Trauma. Klinisch ist eine Unterscheidung gegenüber einem Epiduralhämatom oft nicht möglich. Auch bei schnellem operativem Eingriff ist die Prognose nicht sehr günstig. Das chronische subdurale Hämatom macht sich erst sechs Wochen (oder später) nach einem häufig leichten Trauma bemerkbar. Symptome sind Kopfschmerzen, psychische Veränderungen, Bewusstseinsstörungen oder auch Krampfanfälle. Die Prognose ist besser.

9.2.3 Die Leptomeninx (Arachnoidea mater und Pia mater)

Die Leptomeninx besteht aus Meningealzell-Lamellen und wenig Kollagenfasern. Zwischen ihrem inneren (**Pia mater**) und äußeren Blatt (**Arachnoidea mater**) findet sich ein spaltförmiger Raum, der Subarachnoidalraum. Er wird von Arachnoidaltrabekeln durchzogen und ist mit Liquor cerebrospinalis gefüllt (äußerer Liquorraum, s. u.).

Die Arachnoidea mater liegt mit mehreren Lamellen dicht gepackter Meningealzellen (= Neurothel mit Tight junctions) der Dura mater dicht an; sie zieht also *über* die Furchen der Hirnoberfläche hinweg. Die Pia mater hingegen liegt dem Hirn- und Rückenmarksgewebe an und folgt allen Furchen und Windungen.

In Nachbarschaft der Sinus durae matris, besonders entlang des Sinus sagittalis superior, bildet die Arachnoidea mater gefäßfreie Ausstülpungen (pilzförmig mit langem Stiel), die **Granulationes arachnoideae** (**Pacchioni-Granulationen**). Diese dringen bis in das Lumen der Sinus und in deren seitliche Ausbuchtungen (Lacunae laterales) vor; sie können z.T. bis in den Schädelknochen an die Diplovenen reichen (**Abb. 9.1**, s. S. 169).

Hier hinterlassen sie am Knochen kleine Impressionen, **Foveolae granulares**. Der bindegewebige Kern der Granulationen ist von Kanälchen/Hohlräumen durchzogen, die mit dem Subarachnoidalraum in Verbindung stehen. Über die Granulationen wird der Liquor in das venöse Blut abgeleitet, was u.a. durch das hier abgeflachte Neurothel ermöglicht wird.

Eine Besonderheit der Pia mater *spinalis* ist das **Lig. denticulatum**. Hierbei handelt es sich um eine

frontal gestellte Platte, die sich beidseits zwischen Rückenmark und Dura mater ausspannt, wobei sie die Arachnoidea durchbricht. Damit dient sie als Aufhängevorrichtung für das Rückenmark.

Klinischer Bezug

Meningitis: Auf dem Blutweg (hämatogen) oder im Rahmen einer Entzündung des Felsenbeins (otogen, bei akuter oder chronischer Otitis media) können Erreger eine Leptomeningitis hervorrufen, die meist auch auf das angrenzende Hirngewebe übergreift (Meningoencephalitis). Leitsymptome sind Kopfschmerzen, Fieber und schmerzhafte Nackensteifigkeit. Ferner können Lichtscheu, Übelkeit und Erbrechen auftreten. Die in der neurologischen Untersuchung häufig positiven Dehnungsphänomene (z. B. bei Anheben des gestreckten Beines oder passiver Neigung des Kopfes nach vorne) sind durch Schmerzverstärkung bis hin zur reflektorischen Gegenreaktion gekennzeichnet. In schweren Fällen ist eine Überstreckung von Kopf, Rumpf und Extremitäten (Opisthotonus) zu beobachten. Die diagnostische Abklärung erfolgt über den Liquorbefund (s. S. 176).

9.2.4 Die Blutversorgung und die Innervation der Meningen

9.2.4.1 Die Blutversorgung

Die arterielle Versorgung der Dura mater cranialis erfolgt im Wesentlichen über folgende Gefäße:

- **R. meningeus anterior** (aus der A. ethmoidalis anterior der A. ophthalmica → Dura an der Rückfläche des Os frontale und mediale Bereiche am Boden der vorderen Schädelgrube)
- **A. meningea media** (aus der A. maxillaris = tiefer Endast der A. carotis externa), die durch das Foramen spinosum in das Schädelinnere tritt und sich in R. frontalis, R. orbitalis, R. parietalis, R. petrosus und R. accessorius aufzweigt → größter Teil der Dura oberhalb des Tentorium cerebelli)
- **A. meningea posterior** aus der A. pharyngea ascendens (Ast der A. carotis externa), die durch das Foramen jugulare zieht → Dura der hinteren Schädelgrube

Die Dura mater spinalis wird durch Rückenmarksarterien (S. 190) versorgt.

Die Arachnoidea besitzt keine Kapillarnetze, die der Pia mater werden von oberflächlichen Hirnarterien gespeist.

9.2.4.2 Die Innervation

Die sensible Innervation der Hirnhäute erfolgt durch **Rr. meningei** der drei Trigeminasäste (V₁–V₃) sowie des N. glossopharyngeus (IX) und N. vagus (X). Die Rückenmarkshäute werden von den Rr. meningei der Spinalnerven (s. S. 34) versorgt.

9.3 Das Liquorsystem



Lerncoach

Im Vergleich mit dem umgebenden Subarachnoidalraum, der das gesamte ZNS umgibt, ist die Lage des Ventrikelsystems innerhalb des Gehirns schwerer vorstellbar. Nutzen Sie die häufig geprüften topographischen Beziehungen zur Wiederholung der Hirnstrukturen und achten Sie im folgenden Abschnitt besonders auf die Begrenzungen der Ventrikel.

9.3.1 Der äußere Liquorraum

Der äußere Liquorraum wird durch den Subarachnoidalraum (**Spatium subarachnoideum**, s. auch S. 169) gebildet. An Stellen, an denen sich die Hirn- bzw. Rückenmarksoberfläche von der Arachnoidea samt Dura mater mit der ihr anliegenden inneren Schädeloberfläche entfernt, entstehen als Erweiterungen des Subarachnoidalraums die Subarachnoidalzisternen (**Cisternae subarachnoideae**, **Abb. 9.3**).



Die genaue Kenntnis der Subarachnoidalzisternen und ihre topographischen Beziehungen ist v. a. in der Neurochirurgie relevant. Achten Sie beim Lernen insbesondere auf die fett gedruckten Zisternen.

Die größte Zisterne ist die **Cisterna cerebellomedullaris** (Ausdehnung: transversal ≈ 3 cm, sagittal ≈ 2 cm). Sie wird begrenzt durch Kleinhirnwurm und -tonsillen, Medulla oblongata und Squama ossis occipitalis.

Die **Cisterna basalis** erstreckt sich an der Hirnbasis von der Crista galli bis zum Foramen magnum. Sie

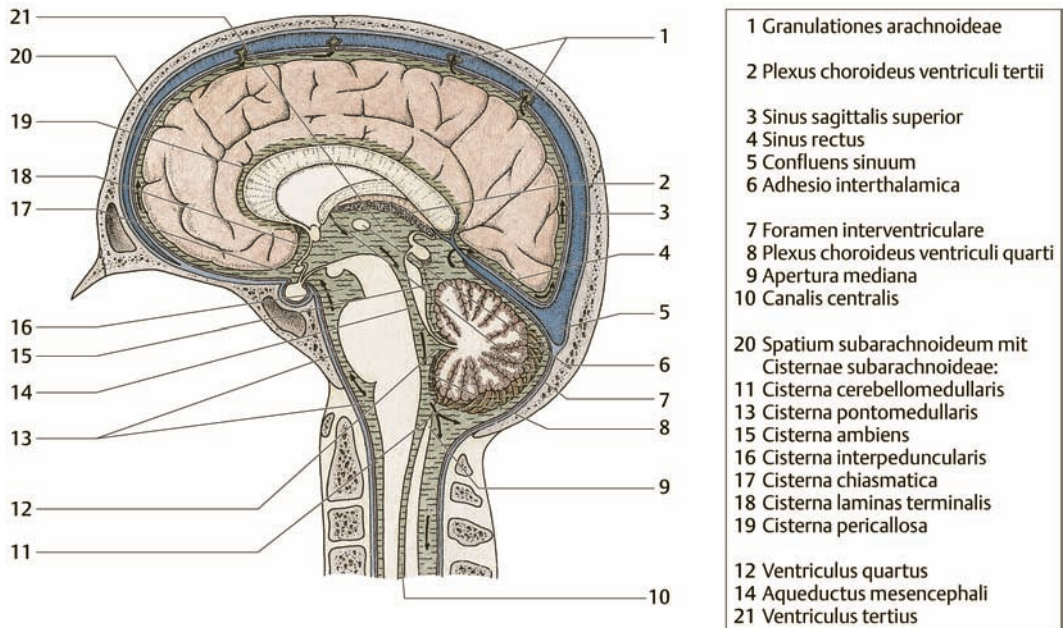


Abb. 9.3 Der äußere Liquorraum mit seinen Erweiterungen und Verbindungen zum inneren Liquorraum am Medianschnitt. Die Pfeile deuten den Liquorfluss an.

besteht aus verschiedenen Kammern, zwischen denen z.T. septenartige Arachnoidaltrabekel liegen. Sie enthält die Wurzeln von Hirnnerven, das Chiasma opticum und große Arterienstämme (z. B. A. basilaris, Circulus arteriosus Willisii). Es lassen sich zwei größere Anteile der Cisterna basalis unterscheiden, die als vordere und hintere Basalzisterne bezeichnet werden. Die **vordere Basalzisterne** grenzt an Corpora mamillaria, Infundibulum, Chiasma opticum, Tractus und Bulbi olfactorii. Eine gesondert bezeichnete Teilzisterne der vorderen Basalzisterne ist die **Cisterna chiasmatica** (um das Chiasma opticum). Nach hinten geht die vordere Basalzisterne in die **Cisterna interpeduncularis** (im Bereich der Fossa interpeduncularis) über, die eine Teilzisterne der **hinteren Basalzisterne** ist und die Nn. oculomotorii, die Aufzweigung der A. basilaris sowie die Anfangsstrecken der Aa. superiores cerebelli und der Aa. cerebri posteriores aufnimmt. Die Cisterna interpeduncularis kommuniziert mit der **Cisterna ambiens** (= Teilzisterne/Erweiterung der hinteren Basalzisterne), die seitlich an den mesencephalen Crura cerebri liegt. Sie enthält die Nn. trochleares, Aa. cerebri posteriores, Vv. cerebri po-

steriores und die V. basalis. An der hinteren Basalzisterne, die vom Dorsum sellae bis zum Foramen magnum reicht, wird noch eine weitere Teilzisterne beschrieben, die **Cisterna pontocerebellaris** im Bereich des Kleinhirnbrückenwinkels (unter dem Flocculus). Sie enthält die Aa. cerebelli inferiores anteriores und labyrinthi, die Nn. faciales und vestibulocochleares und den N. trigeminus. In die Cisterna pontocerebellaris mündet beidseits die Apertura lateralis ventriculi IV.

Weitere Zisternen des Gehirns sind die Cisterna pericallosa, Cisterna laminae terminalis und die Cisterna fossae lateralis (über der Fissura lateralis Sylvii). Letztere enthält Äste der A. cerebri media (z. B. Aa. insulares). An der Lamina tecti liegt die Cisterna quadrigeminalis, die die Glandula pinealis, die Ursprünge der Nn. trochleares und die V. magna cerebri enthält.

Kaudal des Rückenmarks findet sich zwischen dem auf Höhe des ersten und zweiten Lumbalwirbels liegenden Conus medullaris und dem bis etwa zum zweiten Sakralwirbel reichenden Durasack die **Cisterna lumbalis**.

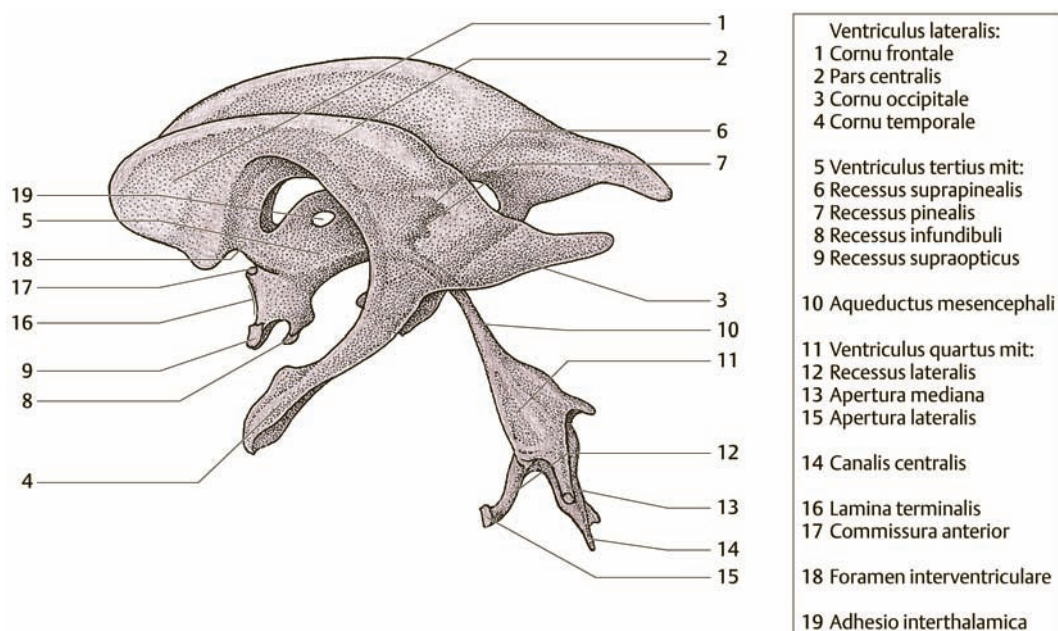


Abb. 9.4 Dreidimensionale Darstellung des inneren Liquorraums (I.–IV. Ventrikel)

Klinischer Bezug

Liquorentnahme aus dem Subarachnoidalraum: Zur Entnahme von Liquor cerebrospinalis (s. S. 176) wird am häufigsten eine **Lumbalpunktion** vorgenommen. Hierbei wird beim liegenden oder sitzenden Patienten mit kyphosiertem (nach ventral gebeugtem) Rücken die Punktionsnadel zwischen den Dornfortsätzen der Wirbel L IV und L V (+/- ein Segment) eingeführt. Nach Durchstich des Lig. flavum wird das Erreichen der Dura mater (und der ihr anliegenden Arachnoidea) durch einen deutlichen Widerstand spürbar, ist dieser überwunden, befindet sich die Kanülenspitze in der Cisterna lumbalis des Subarachnoidalraums. Die Verletzungsgefahr von Nervengewebe ist bei dieser Punktionshöhe sehr gering, da das Rückenmark oberhalb endet und die Spinalnervenzurzen der Cauda equina (s. S. 75) im Liquor „ausweichen“ können.

Die **Subokzipitalpunktion** als andere Möglichkeit der Liquorgewinnung wird heute nur noch in Ausnahmefällen angewandt (z. B. bei lumbalen eitrigen Prozessen). Hierbei werden die Membrana atlantooccipitalis posterior (zwischen hinterem Atlasbogen und Os occipitale), Dura und Arachnoidea durchstoßen, um zur Cisterna cerebellomedullaris zu gelangen.

9.3.2 Der innere Liquorraum

Zum inneren Liquorraum zählen das Ventrikelsystem innerhalb des Gehirns und der Zentralkanal des Rückenmarks. Die vier Ventrikel stehen untereinander und mit dem Zentralkanal sowie mit dem äußeren Liquorraum in Verbindung. Man unterscheidet folgende Anteile:

- zwei **Seitenventrikel** in den Hemisphären des Endhirns: links **I. Ventrikel**, rechts **II. Ventrikel**
- den spaltförmigen **III. Ventrikel** im Bereich des Zwischenhirns
- den zeltförmigen **IV. Ventrikel** zwischen Rautenhirn und Kleinhirn (Abb. 9.4).

Die Seitenventrikel stehen über die Foramina interventricularia (Foramina Monroi) mit dem III. Ventrikel und dieser über den **Aqueductus mesencephali** (= Aqueductus cerebri) mit dem IV. Ventrikel in Verbindung. Der IV. Ventrikel hat drei Öffnungen zum äußeren Liquorraum (Subarachnoidalraum):

- 2 Aperturales laterales (Foramina Luschkae)
 - 1 untere Apertura mediana (Foramen Magendii).
- Nach kaudal setzt sich der IV. Ventrikel in den Zentralkanal (**Canalis centralis**) des Rückenmarks fort.

Tabelle 9.1

Abschnitte der Seitenventrikel in den Lappen des Endhirns	
Seitenventrikel-Abschnitt	Endhirnlappen
Cornu frontale (Vorderhorn)	Lobus frontalis (Frontal-/Stirnlappen)
Pars centralis (Mittelteil)	Lobus parietalis (Parietal-/Scheitellappen)
Cornu occipitale (Hinterhorn)	Lobus occipitalis (Okzipital-/Hinterhauptslappen)
Cornu temporale (Unterhorn)	Lobus temporalis (Temporal-/Schläfenlappen)

9.3.2.1 Die Seitenventrikel (Ventriculi laterales)

Jeder Seitenventrikel besitzt vier Abschnitte, die in den vier Lappen des Endhirns (Telencephalon) liegen (Tab. 9.1).

Cornu frontale

In Frontalschnitten erscheint das **Vorderhorn** als dreieckige Struktur, die oben vom Balken (Rostrum und Truncus corporis callosi), medial vom Septum pellucidum und lateral vom Caput nuclei caudati begrenzt wird. In der dreidimensionalen Darstellung lässt sich erkennen, dass das Vorderhorn vorne durch Genu und Rostrum corporis callosi (s. S. 161) abgeschlossen wird. Nach hinten reicht es bis an die Frontalebene, in der sich das Foramen interventriculare (→ Übergang zum dritten Ventrikel) befindet.

Cornu occipitale

Das **Hinterhorn** ist in Größe und Form sehr variabel. Rechtes und linkes Hinterhorn sind zudem häufig asymmetrisch. Es ist auf allen Seiten von weißer Substanz umgeben. Dabei wird die weiße Substanz im Dach und in der Seitenwand größtenteils vom Tapetum und von Fasern der Radiatio optica gebildet.

In der medialen Wand fällt ein länglicher Wulst, **Calcar avis** (Vogelwulst), auf, der durch das tiefe Einschnitten des Sulcus calcarinus hervorgerufen wird. Am Boden des Hinterhorns findet sich das Trigonum collaterale, das durch den vorgewölbten Sulcus collateralis verursacht wird.

Pars centralis

Der **Mittelteil** reicht bis an die Frontalebene, in der das Splenium des Balkens beginnt. Er wird durch den sich vorwölbenden Thalamus eingeengt. Wie beim Vorderhorn bildet der Balken (Truncus corporis callosi) das Dach und der Nucleus caudatus die laterale Begrenzung. Der Boden wird vom Thalamus

(mit Lamina affixa) gebildet. Medial liegt der Fornix und der Plexus choroideus.

Der hintere Abschnitt des Mittelteils ist erweitert (Atrium). Aus ihm gehen nach hinten das Hinterhorn und das nach unten, vorne und etwas lateral ausgerichtete Unterhorn hervor.

Cornu temporale

Die laterale Wand des **Unterhorns** wird wie die des Hinterhorns vom Tapetum und Fasern der Sehstrahlung gebildet. Der Boden wird von der Eminentia collateralis (Vorwölbung, bedingt durch den Sulcus collateralis) gebildet. Im Dach liegen der sublentikuläre Teil der Capsula interna, die Stria terminalis und lateral die Cauda nuclei caudati.

In der medialen Wand finden sich der Fornix und die Fimbria hippocampi. An beiden Strukturen ist der Plexus choroideus angeheftet (s. auch Taenia fornicis, S. 166). Ferner wölbt sich in der medialen Wand der Hippocampus mit dem Alveus vor. An der vorderen Spitze des Unterhorns findet sich das Corpus amygdaloideum.

9.3.2.2 Der dritte Ventrikel (Ventriculus tertius)

Der dritte Ventrikel ist ein unpaarer enger, hoher Raum. Seine Seitenwände werden von den Medialflächen des Zwischenhirns (Hypothalamus, Thalamus und Epithalamus) gebildet.

Die vordere Begrenzung bildet die Lamina terminalis und die Commissura anterior, die hintere die Commissura posterior, die Commissura habenularum und das Corpus pineale. Im Dach liegt die Tela choroidea ventriculi tertii, im Boden der Hypophysenstiel.

Der dritte Ventrikel besitzt vier kleine Ausbuchtungen/Nischen (**Recessus**):

- Recessus infundibuli: im Anfangsteil des Hypophysenstiels

- Recessus supraopticus: oberhalb des Chiasma opticum
- Recessus suprapinealis: zwischen Ventrikeldach und Corpus pineale
- Recessus pinealis: dringt in das Corpus pineale ein.

Unterhalb der Commissura posterior geht der III. Ventrikel in den Aqueductus mesencephali über.

MERKE

Der dritte Ventrikel grenzt an den Thalamus, den Hypothalamus (mit Tuber cinereum) und vorne an die Lamina terminalis.

9

9.3.2.3 Der vierte Ventrikel (Ventriculus quartus)

Den Boden des IV. Ventrikels bildet die Rautengrube (**Fossa rhomboidea**). Das zeltförmige Dach (**Tegmen ventriculi quarti**) besteht aus einer oberen und unteren Wand (Lamelle), die im Giebel (**Fastigium**) aufeinander treffen:

- Die **obere Wand** wird vom **Velum medullare superius** und von den medialen Rändern der Pedunculi cerebellares superiores gebildet. Das Velum medullare superius erstreckt sich vom unteren Rand der Lamina tecti zum Kleinhirn und liegt zwischen den oberen Kleinhirnstielen.
- Die **untere Wand** des Dachs wird im oberen Bereich vom **Velum medullare inferius**, das sich zwischen Nodus, Stiel des Flocculus und Medulla oblongata ausspannt, gebildet. Im unteren Bereich schließt sich die Tela choroidea ventriculi quarti an, die aus Ependym und Pia mater besteht. Sie trägt den Plexus choroideus des IV. Ventrikels.

Nach unten verjüngt sich der IV. Ventrikel und setzt sich in den Zentralkanal des Rückenmarks fort. Nach lateral weist er Aussackungen auf, die **Recessus laterales**, deren Enden je eine Öffnung, die **Apertura lateralis ventriculi quarti** (Foramen Luschkae) besitzen. Ein Teil des Plexus choroideus des IV. Ventrikels ragt als **Bochdalek-Blumenkörbchen** aus den Aperturae laterales in den Subarachnoidalraum hinein. Die unpaare **Apertura mediana** (Foramen Magendii) liegt oberhalb des Obex (s. S. 95).

MERKE

Verbindungen des IV. Ventrikels zu äußeren bzw. benachbarten inneren Liquorräumen sind:

- Eingang in den Aqueductus mesencephali
- Aperturae laterales
- Apertura mediana
- Eingang in den Canalis centralis.

9.3.3 Der Liquor cerebrospinalis und die Plexus choroidei

9.3.3.1 Der Liquor cerebrospinalis

Der Liquor cerebrospinalis ist eine nahezu zellfreie und proteinarme klare Flüssigkeit.

Klinischer Bezug

Liquordiagnostik: Die Untersuchung des Liquor cerebrospinalis dient dem Nachweis von entzündlichen Erkrankungen des ZNS (z. B. Multiple Sklerose) und seiner Hüllen (Meningitis) oder hier lokalisierten Tumoren. Bei bestimmten Erkrankungen kann schon der makroskopische Aspekt des Liquors diagnoseweisend sein: So weist trüber Liquor auf eine Meningitis hin, blutiger Liquor – sofern eine Verletzung des epiduralen Venenplexus bei der Punktion ausgeschlossen ist – lässt auf eine Subarachnoidalblutung (s. S. 186) schließen.

Der äußere und innere Liquorraum enthalten zusammen etwa 140 ml Liquor, der drei- bis viermal täglich erneuert wird; d. h. am Tag werden etwa 500 ml Liquor produziert. Seine Produktion findet in den Plexus choroidei der Ventrikel statt (s. o.). Nach Zirkulation bis in den äußeren Liquorraum erfolgt der Abfluss hauptsächlich über die **Arachnoidalzotten** (Pacchioni-Granulationen) in die Sinus durae matris (s. S. 193). Ein kleiner Anteil fließt wohl auch über Endoneuralräume (= vom Perineurium umschlossene Räume) der Hirn- und Spinalnerven in Lymphbahnen ab.

Klinischer Bezug

Hydrocephalus: Bei diesem Krankheitsbild kommt es zu einer Erweiterung des inneren und/oder äußeren Liquorraums im Gehirn durch ein Ungleichgewicht zwischen Liquorproduktion und -resorption bzw. -abfluss.

Grund kann z. B. eine Fehlbildung des Gehirns sein: Die Neugeborenen fallen meist durch prall hervortretende Fontanellen und einen vergrößerten Kopfumfang auf, da die Schädelknochen noch dem Druck nachgeben und auseinanderweichen können. Sind die Schädelnähte bei Ausbildung des Hydrocephalus bereits verschlossen (wie z. B. nach Subarachnoidalblutungen, Schädelhirntraumata oder Meningitiden, die durch Verklebungen von Teilen des Subarachnoidalraums zum sog. Hydrocephalus malresorptivus führen), stehen symptomatisch meist Hirndruckzeichen im Vordergrund: Kopfschmerzen, Erbrechen und Störungen der Vigilanz (Aufmerksamkeit, Reaktionsbereitschaft). Im CT lässt sich eine symmetrische Erweiterung der inneren Liquorräume nachweisen. Die Therapie besteht i. A. in einer ventrikuloperitonealen oder ventrikuloatrialen Shuntoperation (Ableitung des Liquors über eine Schlauchverbindung zwischen Seitenventrikel und Bauchhöhle oder rechtem Vorhof).

9.3.3.2 Die Plexus choroidei



Prägen Sie sich ein, wo sich der jeweilige Plexus choroideus innerhalb des Ventrikelsystems befindet.

Die Plexus choroidei sind zarte, zotten- und faltenreiche Strukturen, die als Auffaltungen der Ventrikelwände in jedem Ventrikel vorhanden sind. Sie bestehen aus einem stark kapillarisierten Bindegewebe (Tela choroidea, als Fortsetzung des Pia-Bindegewebes), das von einem spezialisierten Ependym (ventrikelauskleidendes Epithel) überzogen ist. Dieses spezialisierte Ependym wird auch **Plexusepithel** genannt und besitzt Mikrovilli und Tight junctions. Es ist für die Liquorproduktion verantwortlich. In der apikalen (zum Lumen hin ausgerichteten) Membran der Plexusepithelzellen finden sich $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$, Wasserkanäle (Aquaporine) und Chloridkanäle. An der basalen Membran werden über $\text{Na}^+\text{-H}^+\text{-Austauscher}$ und Anionenaustauscher Natrium- und Chloridionen aufgenommen. Die Chloridaufnahme erfolgt im Austausch gegen HCO_3^- , das durch die zytoplasmatische Carboanhydrase produziert wird.

Klinischer Bezug

Carboanhydrasehemmer bei Hirndruck: Durch Hemmung der Carboanhydrase bei Hirndruck (z. B. nach einem Schädel-Hirn-Trauma) kann die Liquorproduktion gedrosselt und somit der intrakranielle Druck gesenkt werden.

Im Seitenwinkel findet sich der Plexus choroideus *nur* in der Pars centralis und im Unterhorn (Cornu inferius). Im Vorder- und Hinterhorn gibt es keinen Plexus choroideus. Im dritten Ventrikel liegt der Plexus am *Dach*, im vierten am Velum medullare inferius und in den Aperturæ laterales.



Check-up

- ✓ **Rekapitulieren Sie zu den ventrikelbegrenzenden Strukturen insbesondere, welche am Aufbau der Wand von Cornu frontale und Pars centralis beider Seitenventrikel beteiligt sind und woran der III. Ventrikel grenzt.**
- ✓ **Machen Sie sich den „Weg“ des Liquors von seinem Bildungsort bis zur Resorption klar.**

9.4 Die Blut-Liquor-Schranke, die Blut-Hirn-Schranke und die zirkumventrikulären Organe



Lerncoach

Die Schranken verhindern ein unkontrolliertes Eindringen von Stoffen in das ZNS. Damit spielen diese Schranken und das Fehlen der Blut-Hirn-Schranke in umschriebenen Bereichen (zirkumventrikuläre Organe) auch für die Verteilung von Arzneimitteln eine Rolle. Wenn Sie sich die physiologische Funktion der zirkumventrikulären Organe vor Augen führen, können Sie sich diese prüfungsrelevanten Strukturen besser merken.

9.4.1 Die Blut-Liquor-Schranke

Das Liquor produzierende Epithel (mit Tight junctions) des Plexus choroideus bildet die Blut-Liquor-Schranke in den Ventrikeln. Im äußeren Liquorraum wird die Schranke durch das Neurothel der Arachnoidea aufgebaut.

9.4.2 Die Blut-Hirn-Schranke

Die Blut-Hirn-Schranke besteht aus dem Kapillarendothel, der Basalmembran und aus einem Mantel von Gefäßfüßchen, die von Astrozytenfortsätzen ausgehen. Die *eigentliche* Diffusionsbarriere und damit die *eigentliche* Blut-Hirn-Schranke ist das Endothel, das zahlreiche, besonders dichte Tight junctions besitzt.

Dadurch wird ein parazellulärer Durchtritt von Substanzen verhindert. In den Endothelzellen findet keine Transzytose statt. Stoffe, die das ZNS benötigt, werden über spezifische Transporter durch die Schranke transportiert (z.B. Glukosetransporter-1, Transporter für Aminosäuren). Die Astrozytenfüßchen sind für die Differenzierung und den Erhalt der spezifischen Diffusionsbarriere verantwortlich.

9.4.3 Die zirkumventrikulären Organe

Bei den zirkumventrikulären Organen handelt es sich um kleine Areale, in denen die Blut-Hirn-Schranke fehlt. In diesen auch als neurohämale Zonen bezeichneten Arealen können Substanzen aus dem Blut durch fenestrierte Kapillaren (mit weitem perivaskulären Raum) in den Interzellularraum des ZNS übertreten. Im Bereich der zirkumventrikulären Organe findet sich ein spezielles Ependym mit Tight junctions, wenigen Kinozilien und z.T. mit Tanyzyten (spezielle Ependymzellen mit langen basalen Fortsätzen, s. Abb. 1.7, S. 14).

Die meisten zirkumventrikulären Organe sind unpaar und finden sich nahe der Medianebene in der Nachbarschaft des dritten Ventrikels:

- Hypophysenhinterlappen und Eminentia mediana am Boden des III. Ventrikels
- Corpus pineale
- Organum subfornicale (Subfornikalorgan): vorne am III. Ventrikel, im Bereich der Columnae fornicis

- Organum vasculosum laminae terminalis: an der Lamina terminalis
- Organum commissurale (Subkommissuralorgan): nur während der Entwicklung oben in der Hinterwand des Aqueductus mesencephali vorhanden
- Area postrema (s. S. 104).

Die funktionelle Bedeutung der zirkumventrikulären Organe ist:

- Teil des neuroendokrinen Systems: Übertritt von Hormonen ins Blut (Neurohypophyse, Corpus pineale und Eminentia mediana im Rahmen des hypophysären Pfortaderkreislaufs, s. S. 139)
- Zugang von Substanzen zu Neuronen: Auslösung des Brechreflexes (Area postrema).

Klinischer Bezug

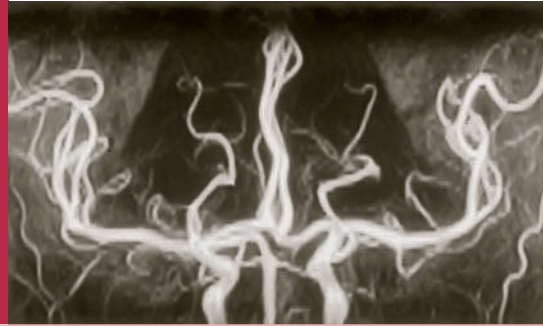
Zugänglichkeit der Area postrema: Da in der Area postrema keine Blut-Hirn-Schranke ausgebildet ist, können hier liegende Neurone, die an der Auslösung des Brechreizes beteiligt sind, von verschiedenen Substanzen über den Blutweg gut erreicht werden. Dies gilt sowohl für Substanzen, die den Brechreiz im Sinne einer Schutzfunktion gegenüber Toxinen u.ä. vermitteln, als auch für pharmakologische Wirkstoffe (s. S. 104).

- Regulation z.B. des Wasserhaushaltes: Verbindungen des Organum subfornicale mit hypothalamischen Kerngebieten und Arealen (z.B. Ncl. preopticus und Area hypothalamica anterior, s. S. 137).



Check-up

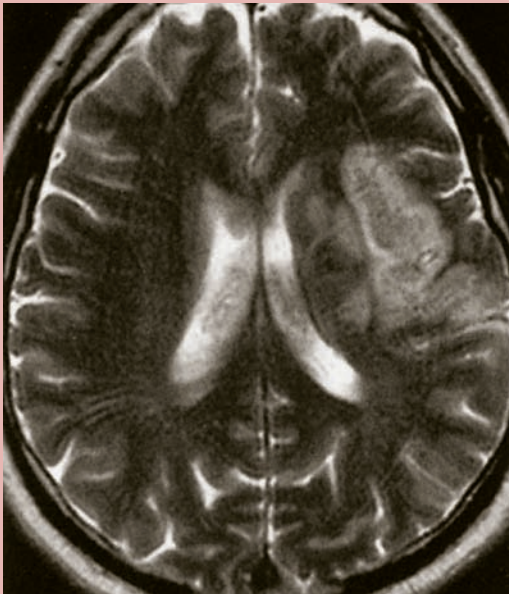
- ✓ **Machen Sie sich klar, in welchen Bereichen die Blut-Hirn-Schranke nicht ausgebildet ist.**



Blutgefäße des ZNS

- 10.1 Der Überblick 181
- 10.2 Die Arterien 181
- 10.3 Die Venen und die Sinus durae matris 190

Vorsicht Sauerstoffmangel



MRT des Schädels mit deutlicher Demarkierung des Infarkt-areals nach Verschluss der linken A. cerebri media. Da Transversalschnitte immer so betrachtet werden, als blicke man von kaudal auf den Patienten, ist der pathologische Befund im Bild rechts erkennbar.

Das Gehirn reagiert besonders empfindlich auf Sauerstoff- und Glukosemangel. Neurone im ZNS besitzen fast keine O_2 - und Glukosevorräte. Wird die Blutzufuhr zum Gehirngewebe unterbrochen, erlischt schnell die Funktion der Nervenzellen: Nach 6–8 Sekunden findet man in der grauen Substanz des Gehirns keinen molekularen Sauerstoff mehr, nach 3–4 Minuten ist die freie Glukose verbraucht, die hauptsächlicher Energielieferant des Hirngewebes ist, und nach 5 Minuten treten irreversible Neuronenschäden auf. Diese Besonderheit des Gehirngewebes hat zur Folge, dass Hirninfarkte oft schwere Verläufe zeigen und kaum heilbar sind. Ein Gefäßverschluss im Gehirn ist immer ein Notfall.

Ein ganz normaler Tag

Wie immer steht der Rentner Christoph T. am Fenster und sieht den Schulkindern beim Spielen zu. Er fühlt sich heute wohl. Am Nachmittag wird seine Tochter zu Besuch kommen. Gemeinsam mit den Enkeln wollen sie zu Abend essen, worauf er sich sehr freut.

Die Zeit bis zu dem ersehnten Besuch versucht der 76-jährige mit Spazierengehen, Kaffeekochen und Lesen zu überbrücken, aber die Zeit scheint schleppend

zu vergehen... Als er kurz vor 15 Uhr vom Sessel aufsteht, um den Fernseher anzumachen, wird es Christoph T. plötzlich ganz komisch: Seine rechte Hand will ihm auf einmal nicht gehorchen: Er kann die Fernbedienung nicht greifen. Gleich danach spürt er, wie seine rechte Gesichtshälfte taub wird, und fällt kurz darauf zu Boden.

Sprachstörung und Lähmungen

„Ich weiß nicht, wie lange er schon so dalag – vor ein paar Stunden haben wir noch telefoniert“, berichtet die Tochter von Christoph T. in der Notaufnahme der Klinik. „Als ich in die Wohnung kam, sprach mein Vater wirres Zeug und konnte seine rechte Körperhälfte nicht bewegen. Ich rief sofort den Notarzt“, spricht die junge Frau weiter. Der Assistenzarzt J. Grämer, der den Nachmittagsdienst auf der Stroke-Unit hat, untersucht den Patienten. Er findet bei Herrn T. abgeschwächte Muskeleigenreflexe der rechten Körperseite. Der positive Babinski-Reflex rechts deutet auf eine Schädigung der Pyramidenbahn hin. Die Halbseitenlähmung ist für den Arzt schwer festzustellen, weil der Patient Aufforderungen wie „Bitte heben sie den Arm“ weder mit rechts noch mit links befolgt. Dies wertet Dr. Grämer als Teil der ausgeprägten Sprachstörung, bei der Aufforderungen nicht verstanden werden, und beobachtet während der Untersuchung aufmerksam Spontanbewegungen des Patienten. Dabei fällt ihm auf, dass Herr T. das rechte Bein, den rechten Arm und die rechte Gesichtshälfte im Gegensatz zur linken Seite nicht bewegt.

Entscheidungshilfe MRT

Sofort veranlasst der Assistenzarzt bei Herrn K. eine kraniale Magnetresonanztomographie. Er will wissen, wie fortgeschritten der Infarkt ist. Als er zusammen mit dem Oberarzt der Stroke-Unit das Schädel-MRT von Christoph T. auf dem Computerbildschirm sieht, bestätigen die Bilder seinen klinischen Verdacht: die linke Arteria cerebri media des Patienten ist verschlossen. Der Infarkt im Versorgungsbereich dieses Gefäßes ist deutlich sichtbar und nicht mehr rückgängig zu machen, sodass der Patient von einer intravenösen Lyse nicht profitieren würde. Wichtig für den Patienten ist jetzt v. a. eine gute symptomatische Therapie mit logopädischer und physiotherapeutischer Betreuung sowie die Prävention eines erneuten Gefäßverschlusses nach Abklärung der Ursache. Doch ob Christoph T. wieder auf beiden Beinen stehen können wird ... Das kann niemand vorhersagen.

10 Blutgefäße des ZNS

10.1 Der Überblick

Eine ausreichende Durchblutung ist für das ZNS besonders wichtig, weil es auf einen O_2 -Mangel ausgesprochen empfindlich reagiert und zugrunde gegangene Nervenzellen nicht mehr ersetzt werden können.

Die zuführenden Blutgefäße des Gehirns sind die paarige A. carotis interna (**Karotisstromgebiet**) und die beiden Aa. vertebrales, die sich zur A. basilaris vereinigen (**vertebrobasiläres Stromgebiet**). Die beiden Stromgebiete sind über ein Anastomosensystem an der Hirnbasis (Circulus arteriosus cerebri) verbunden.

Die Venen des Gehirns verlaufen unabhängig von den Arterien, was innerhalb des Gefäßsystems eine Besonderheit darstellt. Eine weitere Besonderheit ist der Abfluss aus dem oberflächlichen sowie tiefen Venensystem des Gehirns in die **Sinus durae matris**, die ihrerseits hauptsächlich in die Vena jugularis interna drainieren.

10.2 Die Arterien



Lerncoach

Machen Sie sich ausgehend von den Stromgebieten zunächst mit den wichtigsten Arterien vertraut, indem Sie insbesondere die fettgedruckten Gefäßabschnitte und Äste beachten. Führen Sie sich anschließend ihre umschriebenen Versorgungsgebiete im Zusammenhang mit den typischen, bei einem Gefäßverschluss auftretenden Symptomen vor Augen, um sich diese klinisch und prüfungsrelevanten Inhalte besser merken zu können.

10.2.1 Das vertebrobasiläre Stromgebiet

Die Arterien des vertebrobasilären Stromgebiets versorgen

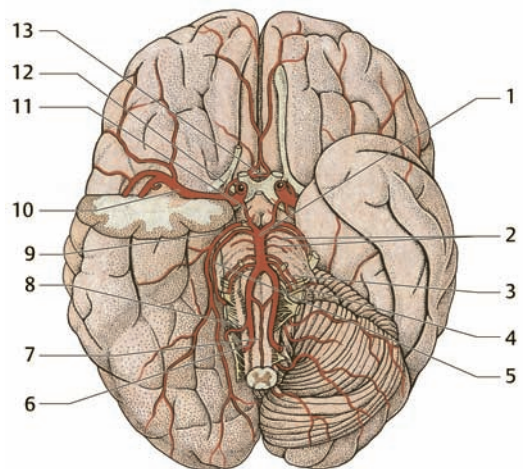
- über Aa. spinales und kürzere Äste (u.a. Aa. cerebelli und Aa. pontis) einen Großteil des Rückenmarks, Hirnstamm und Kleinhirn sowie

- über die A. cerebri posterior einen Teil des Endhirns (Lobus occipitalis und basale Abschnitte des Lobus temporalis).

10.2.1.1 Die Arteria vertebralis

Die A. vertebralis entspringt als erster Ast aus der konvexen Seite der A. subclavia und gliedert sich in **vier Abschnitte** (Tab. 10.1):

- Pars prevertebralis: Gefäßabschnitt vom Abgang aus der A. subclavia bis zum Eintritt in die Halswirbelsäule
- Pars transversaria (= Pars cervicalis): Abschnitt während der Verlaufsstrecke durch die Foramina transversaria der Halswirbel
- Pars atlantica: kurvenreicher Abschnitt am Atlas
- Pars intracranialis: intrakranieller Abschnitt bis zur Vereinigung der rechten und linken A. vertebralis zur A. basilaris.



1 A. basilaris mit:	9 A. cerebri posterior
2 Aa. pontis	10 A. cerebri media
3 A. labyrinthii*	11 A. communicans posterior
4 A. inferior anterior cerebelli	12 A. cerebri anterior
5 A. superior cerebelli	13 A. communicans anterior
6 A. vertebralis mit:	
7 A. spinalis anterior	* 15% direkt aus der A. basilaris, sonst aus der A. inferior anterior cerebelli
8 A. inferior posterior cerebelli	

Abb. 10.1 Arterien an der Hirnbasis: Ursprungsgefäße der hirnversorgenden Arterien und Circulus arteriosus cerebri (s. S. 186)

Tabelle 10.1

Abschnitte und Äste der A. vertebralis

Abschnitte und Äste	Verlauf (•) und Versorgungsgebiet (→)
Pars prevertebralis	• zieht hinter dem M. scalenus anterior aufwärts und tritt nach kurzem Verlauf in das Foramen transversarium des 6. Halswirbels (C VI; selten auch C V oder C VII) ein
Pars transversaria	• zieht durch die Foramina transversaria von C VI bis C II aufwärts, umgeben von einem Venengeflecht und sympathischen Nervenfasern aus dem Ganglion cervicothoracicum • nach medial topographische Beziehungen zu den Processus uncinati der Halswirbel und Disci intervertebrales • segmentale Äste, die durch die Foramina intervertebralia ziehen und sich in Unteräste aufteilen → Rückenmark, Nervenwurzeln, Spinalganglien, Meningen → tiefe Halsmuskeln → autochthone Rückenmuskeln
– Rr. spinales – Rr. musculares	
Pars atlantica	komplizierter Verlauf mit Krümmungen: • wendet sich nach lateral, gelangt durch das Foramen transversarium des Atlas, biegt rechtwinklig um und zieht nach medial <i>hinter</i> die Massa lateralis • nachdem sie sich über den Arcus posterior (im Sulcus arteriae vertebralis) gewendet hat durchbohrt sie die Membrana atlantooccipitalis sowie die Dura mater • im Subarachnoidalraum Durchtritt durch das Foramen magnum → tiefe Nackenmuskeln
– Rr. musculares	
Pars intracranialis (Abb. 10.1)	• zieht nach vorne, verläuft vor der Radix spinalis des N. accessorius und den Wurzelfasern des N. hypoglossus und steigt auf dem Clivus aufwärts • am Unterrand der Brücke Vereinigung der Aa. vertebrales beider Seiten zur A. basilaris (s. u.) • nach Abgang auf Höhe des Foramen magnum ziehen sie zur Dura mater der hinteren Schädelgrube und zur Falx cerebelli • stärkster Ast mit variablem Verlauf: geht auf Höhe der Olive ab, liegt in der Cisterna cerebellomedullaris, verläuft meist durch die Wurzeln des N. hypoglossus, zieht um die Olive nach dorsal → Unterfläche des Kleinhirnwurms und angrenzende Teile der Kleinhirnhemisphären • verläuft abwärts entlang dem Sulcus posterolateralis beider Seiten (ventral oder streckenweise auch dorsal der Radices posteriores der Spinalnerven) → Rückenmark → Kleinhirntonsille → Plexus choroideus des IV. Ventrikels
– Rr. meningei – A. inferior posterior cerebelli – A. spinalis posterior – Rr. tonsillares cerebelli – R. choroideus ventriculi quarti – A. spinalis anterior – Rr. medullares mediales und laterales*	• nur kurzfristig paariger Verlauf bis zur Vereinigung auf Höhe der 1. Zervikalwurzel • Abstieg als unpaares Gefäß in der Fissura mediana anterior → Rückenmark → Medulla oblongata

* kommen manchmal auch aus A. inferior posterior cerebelli

Klinischer Bezug

Subclavian-Steal-Syndrom: Diesem Syndrom liegt eine hochgradige Stenose bzw. ein Verschluss der A. subclavia proximal des Abgangs der A. vertebralis zugrunde. Bei Bewegungen des Arms (auf der Stenose- bzw. Verschlussseite) kommt es vorübergehend zur Strömungsumkehr in der ipsilateralen A. vertebralis: Blut fließt von der A. vertebralis der Gegenseite über den Stamm der A. basilaris in die A. vertebralis der stenosierten Seite rückläufig zum Arm. Dadurch wird die Perfusion im vertebrobasilären Stromgebiet herabgesetzt. Typische Symptome sind: Schwindel, Ohrgeräusche, Gleichgewichts- und Sehstörungen. Eine beidseitige Blutdruckmessung ergibt einen deutlich niedrigeren Druck auf der betroffenen Seite.

Der stark gewundene Verlauf der Pars atlantica verhindert, dass die Arterie bei Bewegungen in den benachbarten Kopf Gelenken angespannt oder gezerzt wird.

10.2.1.2 Die Arteria basilaris

Die beiden, manchmal unterschiedlich dicken Aa. vertebrales vereinigen sich am Unterrand der Brücke meist spitzwinklig zur A. basilaris (Tab. 10.2). Das ca. 3 cm lange Gefäß verläuft in der Cisterna pontis im Sulcus basilaris der Brücke aufwärts und teilt sich an deren Oberrand in die beiden Aa. cerebri posteriores (s. u.).

Tabelle 10.2

Äste der A. basilaris	
Äste	Verlauf (•) und Versorgungsgebiet (→)
A. inferior anterior cerebelli – A. labyrinthi*	• geht aus dem Anfangsteil der A. basilaris ab, verläuft auf der Brücke nach lateral (überquert dabei den N. abducens) und teilt sich → Unterfläche der Kleinhirnhemisphäre • verläuft mit N. facialis und Pars cochlearis des N. vestibulocochlearis → Innenohr (einzige Arterie für das Innenohr)
Aa. pontis (mit Rr. mediales und laterales)	zahlreiche (bis 10) kleine Arterien zur Brücke
A. superior cerebelli (mit Rr. mediales und laterales)	• entspringt kurz vor der Aufgabelung der A. basilaris • zieht durch die Cisterna interpeduncularis und Cisterna ambiens (hinter dem N. oculomotorius) • anastomosiert mit Aa. inferiores cerebelli und A. posterior cerebri → v. a. Kleinhirnhemisphäre

* in 15 % direkt aus der A. basilaris, häufig auch 2 Aa. labyrinthi

Tabelle 10.3

Abschnitte der A. cerebri posterior	
Abschnitte	Beschreibung/Verlauf (•) und Versorgungsgebiet (→) der jeweils abgehenden Äste (Abb. 10.2)
Pars precommunicalis (P1-Segment)	• von der Aufteilung der A. basilaris bis zur Einmündung der A. communicans posterior • liegt in der Cisterna interpeduncularis (s. S. 173) und überkreuzt den N. oculomotorius → Mittel- und Zwischenhirn
Pars postcommunicalis (P2-Segment)	• von der Mündung der A. communicans posterior bis zur Aufzweigung in die beiden Okzipitalarterien → Mittel- und Zwischenhirn sowie untere Anteile des Schläfenlappens*
A. occipitalis lateralis (P3-Segment)	• lateraler Endast der A. cerebri posterior → hinterer Abschnitt des Temporallappens und Basalfläche des Okzipitallappens
A. occipitalis medialis (P4-Segment)	• medialer Endast der A. cerebri posterior → mediale Fläche des Okzipitallappens

* über Rr. temporales, die auch aus der A. occipitalis lateralis hervorgehen können

10.2.1.3 Die Arteria cerebri posterior

Die (bogenförmige) A. cerebri posterior geht aus der Gabelung der A. basilaris hervor. Durch die Mündung der A. communicans posterior wird die A. cerebri posterior in eine Pars precommunicalis und Pars postcommunicalis unterteilt. Die Pars postcommunicalis teilt sich vor dem Okzipitallappen in die A. occipitalis lateralis und die A. occipitalis medialis. In der Klinik bezeichnet man diese vier Abschnitte als Segmente P1–P4 (Tab. 10.3). Die A. cerebri posterior zieht zunächst um die Pedunculi cerebri in der Cisterna ambiens, dann durch den Tentoriumschlitz auf die Basalfläche des Temporallappens und verläuft entlang des Gyrus parahippocampalis nach dorsal zum Okzipitallappen.

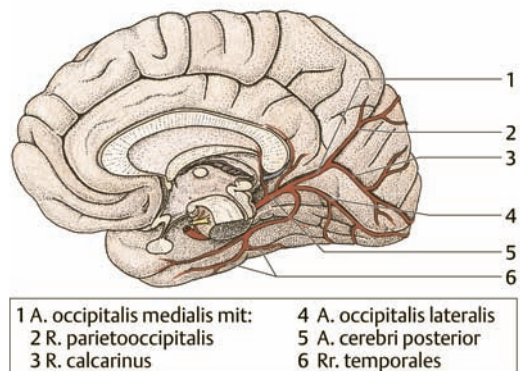


Abb. 10.2 Äste der A. cerebri posterior

10.2.2 Das Karotisstromgebiet

Durch das Blut aus der **A. carotis interna** werden

- über die **A. cerebri anterior** vorwiegend mediale Anteile des Frontal- und Parietallappens versorgt,
- über die **A. cerebri media** v.a. laterale Teile der gleichen Hirnloben sowie der größte Teil des Lobus temporalis.

10.2.2.1 Die Arteria carotis interna

Die A. carotis interna versorgt nicht nur den größten Teil des Gehirns, sondern (über die A. ophthalmica) auch die Orbita, die Schleimhäute der Siebbeinzellen, der Stirnhöhle und z.T. der Nasenhöhle. Ihr Ursprungsgefäß ist die A. carotis communis, die rechts aus dem Truncus brachiocephalicus und links aus dem Aortenbogen hervorgeht, in der Gefäßnervenstraße des Halses aufwärts zieht und sich

im Trigonum caroticum in ihre beiden großen Endäste aufteilt. Anders als die A. carotis externa gibt die A. carotis interna am Hals keine Äste ab, sondern erst in den folgenden drei ihrer insgesamt vier Abschnitte (**Tab. 10.4**). Aus der Bifurkation der A. carotis interna (am Proc. clinoideus anterior) gehen die Aa. cerebri anterior und media hervor.

10.2.2.2 Die Arteria cerebri anterior

Dieser vordere schwächere Endast, die A. cerebri anterior zieht nach medial vorne, wo an der Fissura longitudinalis cerebri die Arterien beider Seiten zunächst dicht nebeneinander liegen und durch die A. communicans anterior (s. S. 186) miteinander verbunden sind. Durch den Abgang letzterer wird die A. cerebri anterior in zwei Gefäßabschnitte gegliedert (**Tab. 10.5**).

Tabelle 10.4

Abschnitte und Äste der A. carotis interna	
Abschnitte und Äste	Beschreibung/Verlauf (•) und Versorgungsgebiet (→)
Pars cervicalis	• extrakranieller Abschnitt <i>ohne</i> Äste • verläuft zunächst hinter der A. carotis externa • bildet vor dem Eintritt in den Canalis caroticus einen leichten Bogen
Pars petrosa	• Gefäßabschnitt im Canalis caroticus der Pars petrosa ossis temporalis (Eingang = Apertura externa; außen an der Schädelbasis zwischen Foramen jugulare und canalis musculotubarius; Ausgang = Apertura interna; an der Spitze der Pars petrosa) • innerhalb des Kanals, der die Vorderwand der Paukenhöhle bildet, folgt das Gefäß seinem Verlauf mit Biegung nach vorne medial und wird vom Plexus venosus caroticus internus umgeben
– Aa. caroticotympanicae – A. canalis pterygoidei	→ Paukenhöhle • zum gleichnamigen Kanal in der Basis des Proc. pterygoideus → Tuba auditiva, Pharynx
Pars cavernosa	• Gefäßabschnitt im Sinus cavernosus mit S-förmiger Krümmung (Karotissiphon) • im Sulcus caroticus Anlagerung an die Seitenfläche des Corpus ossis sphenoidalis
– R. basalis tentorii und R. marginalis tentorii – R. meningeus – R. sinus cavernosi – A. hypophysialis inferior – Rr. ganglionares trigeminales und nervorum	→ Kleinhirnzelt → Dura der mittleren Schädelgrube → Wand des Sinus cavernosus → Hypophyse → Ganglion trigeminale, N. trigeminus und N. trochlearis
Pars cerebralis	• nach Durchbohren der Dura mater Verlauf in die Cisterna carotica (Cisterna chiasmatica)
– A. ophthalmica – A. hypophysialis superior – A. communicans posterior	→ Orbita (s. S. 252) → Hypophyse • entspringt aus der Hinterwand der A. carotis interna (oder aus der A. cerebri media) und schafft eine Verbindung zur A. cerebri post. (aus A. basilaris) • überkreuzt den Tractus opticus und verläuft durch die Cisterna interpeduncularis → Diencephalon
– Aa. centrales postero-mediales – A. choroidea anterior (mit zahlreichen dünnen Ästen)	• dünne Arterie, die kurz vor der Aufgabelung der A. carotis interna in Aa. cerebri anterior und media abzweigt (manchmal auch aus der A. cerebri media) • folgt dem Tractus opticus nach hinten zum Corpus geniculatum laterale und zieht anschließend zum Unterhorn des Seitenventrikels → Teile des Mittelhirns (Ncl. ruber, Substantia nigra, Crura cerebri), des Zwischenhirns (ventrolaterale Thalamuskern), des Hippocampus, der Basalganglien und der Capsula interna
– R. meningeus	→ Dura der mittleren Schädelgrube

Tabelle 10.5

Abschnitte und Äste der A. cerebri anterior	
Abschnitte und Äste	Beschreibung/Verlauf (•) und Versorgungsgebiet (→)
Pars precommunicalis (A1-Segment) – Aa. centrales anteromediales – A. communicans anterior – Aa. centrales anteromediales	• Abschnitt vor Verbindung der rechten und linken A. cerebri anterior durch die A. communicans anterior • überquert den N. opticus (nahe am Chiasma) und zieht nach medial-vorne • ca. 10 dünne Äste → Hypothalamus, Septum pellucidum, Commissura ant., Fornix und Striatum • unpaare, nur wenige mm lange Verbindung der Aa. cerebri anteriores beider Seiten vor dem Chiasma opticum in variabler Ausprägung (z. B. Verdopplung oder Verdreifachung) → Teile des Hypothalamus, Infundibulum und präoptische Region
Pars postcommunicalis (A2-Segment) – kürzere Äste (z. B. A. frontobasalis) – Endäste: – A. pericallosa – A. callosomarginalis	• gelangt in der Fissura longitudinalis cerebri auf die mediale Hemisphärenfläche (Abb. 10.3) • steigt (vor der Lamina terminalis) zum Rostrum corporis callosi auf, zieht um das Balkenknie herum und dann weiter nach dorsal, wo sie sich in ihre beiden Endäste aufteilt → Unterfläche und vorderen Pol des Frontallappens → vordere Abschnitte der Basalganglien und der Capsula interna • im Sulcus cinguli verlaufend → mediale Fläche des Frontallappens, Gyrus cinguli • Fortsetzung des Arterienstamms • zieht entlang des Sulcus corporis callosi bis zum Splenium des Corpus callosum → Corpus callosum, Gyrus cinguli und Medialfläche des Parietallappens

Tabelle 10.6

Abschnitte und Äste der A. cerebri media	
Abschnitte und Äste	Beschreibung/Verlauf (•) und Versorgungsgebiet (→)
Pars sphenoidalis (M1-Segment, auch Pars horizontalis) – Aa. centrales anterolaterales (= Aa. lenticulostriatae) – Aa. polaris temporalis und temporalis anterior	• Gefäßabschnitt mit Verlauf entlang des Os sphenoidale (Ala minor) • dringen durch die Substantia perforata anterior ein → Teile der Basalganglien (u. a. Caput nuclei caudati) und der Capsula interna → Temporalpol
Pars insularis (M2-Segment, Abb. 10.4) Aa. insulares* - Rr. terminales (oder corticales) inferiores - Rr. terminales (oder corticales) superiores	• nach Eintritt von unten in den Sulcus lateralis Aufteilung in zahlreiche größere Endäste → Inselrinde → Claustrum und Teile des Putamens → Rinde des Temporallappens → Rinde des Frontal- und Parietallappens
* meist aus den Anfangsabschnitten der Rr. terminales	

10.2.2.3 Die Arteria cerebri media

Die A. cerebri media ist der stärkere seitliche Endast der A. carotis interna und setzt deren Verlaufsrichtung fort. Auch bei dieser Arterie unterscheidet man zwei Abschnitte (**Tab. 10.6**): Während ihres Verlaufs entlang des Os sphenoidale (Ala minor) nach lateral wird sie als Pars sphenoidalis (M1-Segment) bezeichnet, nach Eintritt von unten in den Sulcus lateralis (Cisterna lateralis) als Pars insularis (M2-Segment). Im Sulcus lateralis teilt sie sich in zahlreiche größere Endäste.

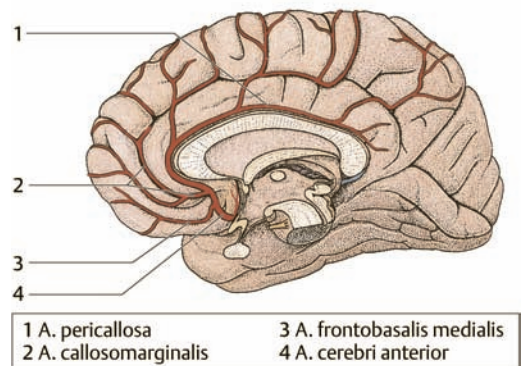
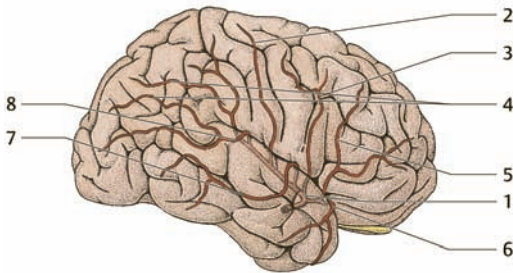


Abb. 10.3 Aufteilung der A. cerebri anterior (Pars postcommunicalis) und ihrer Endäste



1 A. cerebri media

Rr. terminales superiores:

- 2 A. sulci postcentralis
- 3 A. sulci centralis
- 4 Aa. parietales
- 5 A. prefrontalis

Rr. terminales inferiores:

- 6 A. temporalis anterior
- 7 A. temporalis posterior
- 8 A. gyri angularis

Abb. 10.4 Äste der A. cerebri media (Pars insularis)

10.2.3 Der Circulus arteriosus cerebri (Willisi)

Der Circulus arteriosus cerebri ist ein kranzförmiges Anastomosensystem an der Hirnbasis, über das Verbindungen zwischen vertebrobasilärem und Karotisstromgebiet beider Seiten bestehen.

Beteiligt sind alle großen Hirnarterien mit ihren Ursprungsgefäßen sowie zwei **Arteriae communicantes** (s. Abb. 10.1, S. 181):

- Die Karotisstromgebiete beider Seiten stehen über die unpaare **A. communicans anterior** zwischen den beiden Aa. cerebri anteriores in Verbindung. „Bindungsglied“ zwischen vorderer und mittlerer Hirnarterie ist die A. carotis interna als ihr gemeinsames Ursprungsgefäß.
- Der Anschluss des Karotisstromgebiets an das vertebrobasiläre Stromgebiet erfolgt über die **A. communicans posterior** zwischen der A. cerebri media und A. cerebri posterior. Letztere sind wiederum mit dem gleichen Gefäß der Gegenseite über den gemeinsamen Ursprung aus der A. basilaris miteinander verbunden.

Da die Aa. communicantes relativ schwach ausgebildet sind, ermöglicht das Anastomosensystem zwar einen Druckausgleich, jedoch kann hierüber bei akutem arteriellen Verschluss keine adäquate Blutversorgung gewährleistet werden, auch wenn er proximal der Verbindungsäste auftritt.

Klinischer Bezug

Aneurysmata und Subarachnoidalblutung: Aneurysmata sind umschriebene, meist sackförmige Ausstülpungen der Arterienwand. Im ZNS finden sie sich ganz überwiegend am Circulus arteriosus Willisii; meist sitzen sie am vorderen Teil des Circulus (z. B. A. communicans anterior, A. cerebri anterior oder A. cerebri media).

Ursache der Aneurysmabildung ist eine angeborene Wandschwäche: In der Media fehlen die elastischen und Kollagenfasern; die Anzahl der Muskelzellen ist stark reduziert.

Aneurysmata können klinisch symptomlos bleiben. Bei anderen Patienten treten anfallsweise Kopfschmerzen und neurologische Symptome auf, wie Okulomotoriuslähmung (s. S. 60) oder Druckschädigung des N. opticus bzw. des Chiasma opticum.

Die Ruptur eines solchen Hirnbasisaneurysmas liegt meistens einer nichttraumatischen Subarachnoidalblutung zugrunde. Dabei treten aus völliger Gesundheit u. a. folgende Symptome auf: schlagartig einsetzende, heftigste Kopfschmerzen, Nackensteifigkeit, Übelkeit und Erbrechen, Veränderungen von Blutdruck, Puls, Schlag und Atmung, Bewusstseinsstörung und fokale Hirnnervenausfälle (v. a. N. oculomotorius mit Auftreten von Doppelbildern). Diagnostisch kann mit bildgebenden Verfahren (v. a. CT) frisches Blut im Subarachnoidalraum und somit in den Zisternen (z. B. Cisternae cerebellomedullaris, chiasmatis; s. S. 172) sichtbar gemacht werden (im CT hyperdens). Ist dieser Nachweis nicht möglich, kann der mittels Lumbalpunktion (s. S. 174) gewonnene kontinuierlich blutige Liquor die Diagnose bestätigen. Die Therapie besteht in einer operativen Beseitigung der Blutungsquelle.

Der Circulus arteriosus cerebri liegt in der Cisterna basalis und umrahmt folgende Strukturen (von vorne nach hinten): Chiasma opticum, Tuber cinereum, Corpora mammillaria und Fossa interpeduncularis. Bezogen auf die Schädelbasis bildet er einen Arterienkranz um die Sella turcica herum.

10.2.4 Die Versorgungsgebiete der drei großen Hirnarterien

Für die Versorgung des Gehirns mit Sauerstoff und Glukose sind die drei großen Hirnarterien von herausragender Bedeutung.

Klinischer Bezug

Zerebrale Ischämie: Störungen der Hirndurchblutung führen fast immer zu neurologischen Ausfallerscheinungen, die nach Schweregrad und Dauer klassifiziert werden können. Geht die Durchblutungsstörung mit anhaltenden zentral-neurologischen Ausfällen einher, spricht man von einem Schlaganfall (= **Apoplex** oder **zerebraler Insult**). Dies ist ein rein deskriptiver Begriff und sagt nichts über die Ursache der Störung aus. Während in 15–20 % eine Hirnblutung zugrunde liegt, ist in der Mehrzahl der Fälle eine Minderdurchblutung (Ischämie) bei hochgradiger Einengung (**Stenose**) oder Verschluss eines hirnversorgenden intra- oder extrakraniellen Gefäßes verantwortlich. Häufig liegt eine arteriosklerotische Gefäßwandveränderung vor, jedoch kann auch ein Blutgerinnsel, das sich z.B. bei bestehenden Herzrhythmusstörungen gebildet hat, in den Blutkreislauf gelangen und ein Hirngefäß verlegen (**Embolie**). Je nach betroffener Hirnarterie treten unterschiedliche typische Ausfallsmuster auf (vgl. Gefäßsyndrome der großen Hirnarterien, S. 188). Wird ein kleinerer Ast verlegt, ist das Ausmaß der Schädigungen entsprechend geringer. Bei komplettem Verschluss einer Arterie oder länger andauernder Minderperfusion kommt es zum irreversiblen Untergang von Hirngewebe (**Infarkt**). Als „Vorläufer“ können auch vorübergehende neurologische Störungen auftreten, die unbedingt eine Abklärung nach sich ziehen sollten: Bei einer **transitorisch ischämischen Attacke (TIA)** bilden sich die Symptome nach maximal 24 Stunden vollständig zurück, halten jedoch oft auch nur Sekunden bis wenige Minuten an. Typische Störungen sind z.B. Amaurosis fugax, d.h. eine vorübergehende ipsilaterale Erblindung als Ausdruck verminderter Perfusion in der A. centralis retinae aus der A. ophthalmica (Karotisstromgebiet), Aphasie oder sensomotorische Störungen unterschiedlicher Ausdehnung in Abhängigkeit vom betroffenen Gefäß (s. u.).

Die großen Äste der drei Zerebralarterien (Aa. cerebri) liegen an der Hirnoberfläche. Von ihnen dringen kleine Arterien senkrecht in die Hirnsubstanz ein:

- Aa. corticales breves ziehen in die graue Substanz der Rinde
- Aa. subcorticales versorgen weiße Substanz direkt unter der Rinde
- Aa. medullares longae dringen in tiefer gelegene weiße Substanz vor.

MERKE

Alle drei Aa. cerebri sind funktionelle Endarterien, d. h. ein Verschluss führt zu schweren Ausfällen.



Achten Sie beim Lesen des folgenden Abschnitts darauf, welche funktionellen Zentren (s. S. 151) im Versorgungsgebiet der jeweiligen zerebralen Arterien liegen. Dies ermöglicht es Ihnen, von charakteristischen Ausfallsmustern Rückschlüsse auf das betroffene Gefäß zu ziehen.

10

10.2.4.1 Die arterielle Versorgung der Hirnrinde

Das Versorgungsgebiet der A. cerebri anterior

Es erstreckt sich an der medialen Hemisphärenfläche über Frontal- und Parietallappen (bis etwas rostral des Sulcus parietooccipitalis) und reicht etwa 2–3 cm über die Mantelkante hinaus:

Das **Versorgungsgebiet auf der medialen Fläche** beinhaltet daher den medialen und angrenzenden basalen Teil des Frontallappens, das am Übergang zum Parietallappen liegende kortikale Blasenzentrum sowie den medialen Parietallappen bis zum Sulcus parietooccipitalis. Weiterhin werden von der A. cerebri anterior größtenteils der Gyrus cinguli, der Balken und das Septum pellucidum versorgt. Der **Streifen lateral der Mantelkante**, umfasst Teile des Gyrus frontalis superior, der Gyri pre- und postcentralis und der oberen Parietalwindungen. (**Abb. 10.5**).

Im Versorgungsgebiet dieser Arterie liegen also die primären motorischen und sensiblen Rindenfelder für das kontralaterale Bein (vgl. Abb. 8.6, S. 152 und Abb. 8.7, S. 155).

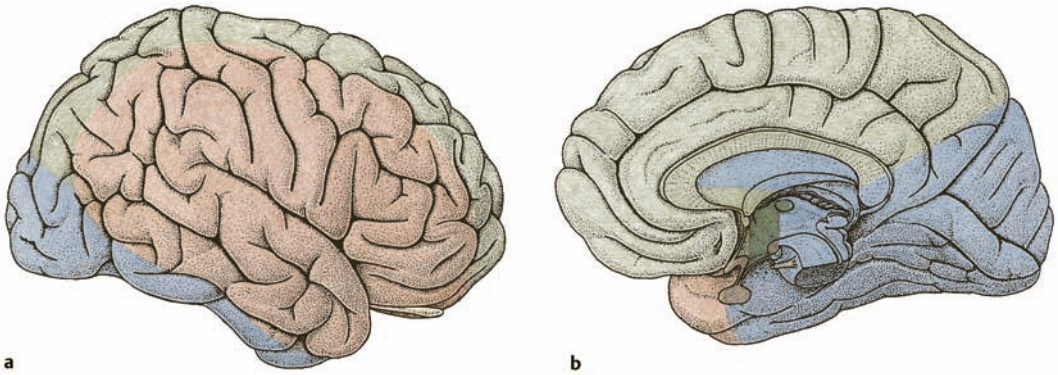


Abb. 10.5 Versorgungsbereiche der drei großen Hirnarterien in der Ansicht von lateral (a) und von medial (b): hellgrün = A. cerebri anterior; rosa = A. cerebri media; blau = A. cerebri posterior; dunkelgrün = A. cerebri anterior + A. cerebri posterior

Klinischer Bezug

A.-cerebri-anterior-Syndrom: Verschlüsse der vorderen Hirnarterie sind seltener als bei den anderen großen zerebralen Arterien. Liegt der Verschluss in der Pars precommunicalis, finden sich meist keine Ausfallserscheinungen (Versorgung von der Gegenseite durch A. communicans anterior). Verschlüsse der Pars postcommunicalis führen zu einer kontralateralen, beinbetonten Hemiparese, entsprechende Sensibilitätsstörungen und Blasenschwäche.

Das Versorgungsgebiet der A. cerebri media

Das große Stromgebiet der mittleren Hirnarterie umfasst die Seitenfläche des Frontal-, Parietal- und Temporallappens (mit Ausnahme des Streifens lateral der Mantelkante, s.o.) mit den Opercula sowie die durch Letztere bedeckte Insula. Zum Territorium der Arterie gehören also u.a. motorischer und sensorischer Kortex für Rumpf, obere Extremität und Kopf, auditorischer Kortex, das Areal zum Verstehen gelesener Worte (Gyrus angularis) sowie motorisches und sensorisches Sprachzentrum (so weit die sprachdominante Hemisphäre betroffen ist).

Außerdem versorgt die Arterie den Temporalpol und basal die laterale Hälfte der Facies orbitalis des Frontallappens.

Klinischer Bezug

A.-cerebri-media-Syndrom: Die Symptome bei einem Verschluss des A.-cerebri-media-Stammes sind u.a. kontralaterale Hemiparese und Sensibilitätsstörungen mit besonders starker Ausprägung im Gesicht und am Arm (brachiofazial betont). Wenn die sprachdominante Hemisphäre (i.d.R. die linke) betroffen ist, tritt zusätzlich eine Aphasie auf. Bei einem Verschluss in der nicht sprachdominanten Hemisphäre, kann sich eine Neglect (Nicht-Wahrnehmen der meist rechtsseitigen Sinneseindrücke) ausbilden.

Das Versorgungsgebiet der A. cerebri posterior

Von der hinteren Hirnarterie werden der basale Bereich des Temporallappens mit dem Hippocampus sowie der gesamte Okzipitallappen (und damit die Sehrinde) versorgt.

Klinischer Bezug

A.-cerebri-posterior-Syndrom: Hauptsymptom beim Verschluss dieser Arterie ist eine kontralaterale homonyme Hemianopsie (vgl. S. 212).

10.2.4.2 Die arterielle Versorgung der Basalganglien und der Capsula interna

Die tiefen Strukturen des Vorderhirns werden durch Perforansäste der Hirnarterien von der Hirnbasis her versorgt.

Das Striatum sowie der größte Teil des Globus pallidus und der Capsula interna (Crus anterior und Genu) werden von der A. cerebri media (über Aa. centrales anterolaterales) versorgt (Abb. 10.6). Medial davon ziehen kleinere Äste der A. choroidea anterior in die Tiefe (u.a. Crus posterius der Capsula interna).

Noch weiter medial gelangen Äste aus den Aa. communicantes anterior und posterior zu Teilen des Zwischenhirns.

Klinischer Bezug

Intrazerebrale Blutung: Die Aa. centrales anterolaterales (= Aa. lenticulostriatae), die im strömungstechnisch ungünstigen rechten Winkel vom Hauptgefäß abzweigen, sind typischer Ort für eine spontane intrazerebrale Blutung bei chronischer arterieller Hypertonie (Bluthochdruck). Bei dieser sog. hypertensiven Massenblutung, die einen Teil der nicht ischämischen Schlaganfälle ausmacht, kommt es zu Einblutungen in die Capsula interna, was aufgrund der zahlreichen, auf engem Raum nah beieinander verlaufenden Fasersystemen kontralaterale motorische und sensible Ausfälle zur Folge hat: Durch Schädigung der Pyramidenbahn kommt es zu spastischen Paresen (s. S. 199), und die Unterbrechung afferenter thalamokortikaler Bahnen führt zu sensiblen Störungen. Darüber hinaus können Basalganglien und thalamische Areale betroffen sein.

MERKE

Die arterielle Versorgung der Capsula interna ist von besonderer klinischer Relevanz, da dort auf engstem Raum zahlreiche Bahnen verlaufen, die bei einer Durchblutungsstörung in diesem Bereich geschädigt werden.



Wiederholen Sie an dieser Stelle die durch die Capsula interna ziehenden Fasern (s. S. 162), die häufig geprüft werden.

10.2.5 Die arterielle Versorgung des Kleinhirns und des Hirnstamms

Die Äste für das Kleinhirn und den Hirnstamm zählen überwiegend zum vertebrobasilären Stromgebiet (S. 181).

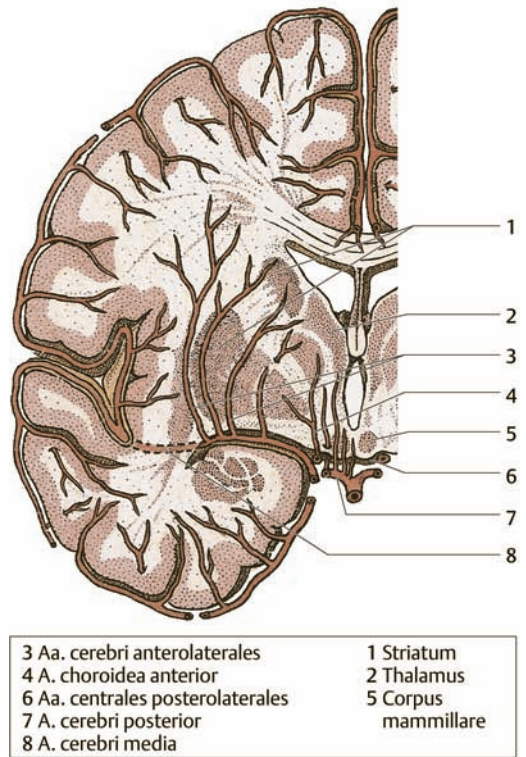


Abb. 10.6 Blutversorgung der Basalganglien und der Capsula interna

Dabei gehen die Kleinhirnarterien v.a. von der A. basilaris ab (s. Tab. 10.2, S. 183) und eine auch beidseits aus der A. vertebralis (s. Tab. 10.1, S. 182).

Die Äste zum Hirnstamm entspringen in der Regel jeweils den größeren Arterien, die auf gleicher Höhe wie der entsprechende Hirnstammabschnitt liegen (zur Medulla oblongata: A. vertebralis bzw. A. spinalis anterior; Pons: A. basilaris; Großteil des Mesencephalon: A. cerebri posterior).

Klinischer Bezug

Hirnstammischämie: Eine Schädigung durch Minderperfusion im Bereich des Hirnstamms kann zu einer Vielzahl von Symptomen führen, die abhängig vom genauen Ort der Gefäßverengung sind. Eine einseitige Hirnstammläsion führt zu sog. **Alternans-Syndromen**, bei denen sich der Hirnnervenausfall infolge der nukleären Schädigung *homolateral* (auf der gleichen Seite der Schädigung) ausprägt, die Symptome infolge

Verletzung der langen durch den Hirnstamm hindurchziehenden Bahnen oberhalb ihrer Kreuzung dagegen *kontralateral* (auf der Gegenseite) in Erscheinung treten.

Schwerste neurologische Ausfälle mit oft fluktuierender Symptomatik können bei einer **Basilaristhrombose** auftreten, die auch vom Ausmaß des geschädigten Areals abhängt, klassischerweise jedoch meist durch Schwindel, Bewusstseinstörung, Hirnervenstörung und Tetra- oder bei Restdurchgängigkeit des Gefäßes auch Hemiparese gekennzeichnet ist (s. a. klinischer Fall, S. 92).

10.2.6 Die arterielle Versorgung des Rückenmarks

Bei den Rückenmarksarterien sind lange vertikale und kurze horizontale Gefäße zu unterscheiden.

Die **langen vertikalen Arterien** entspringen weit oben aus der A. vertebralis, bzw. der A. inferior posterior cerebelli als einem ihrer Äste (s. **Tab. 10.1**, S. 182):

- **A. spinalis anterior** (unpaar) zur Versorgung der Vorderhörner und des Vorderseitenstrangs
- **Aa. spinales posteriores** (paarig) zur Versorgung des Hinterhorns samt Hintersträngen der jeweiligen Seite.

Die **horizontalen Gefäße** sind die **Rr. spinales**, die durch die Foramina intervertebralia in den Wirbelkanal eintreten und sich in A. radicularis anterior (anastomosiert mit der A. spinalis anterior) und A. radicularis posterior (anastomosiert mit Aa. spinales posteriores) aufteilen. Dadurch entsteht um das Rückenmark ein gürtelförmiger Gefäßkranz (Vasa corona), von dem aus kleine Äste in das Rückenmark eindringen.

Der skizzierte Gefäßverlauf der horizontalen Arterien ist *nicht* auf allen 31 Segmenten vorhanden. Nach Rückbildung von Arterienästen bleiben meist 8 vordere und 12 hintere Aa. radicales übrig (auf individuell unterschiedlichen Segmenthöhen).

Ein besonders dicker vorderer Ast, der von einer A. intercostalis posterior ausgehend meist im Bereich der Brustwirbel Th IX und Th XII links in den Wirbelkanal eindringt, wird als **A. radicularis magna** (Adamkiewicz-Arterie) beschrieben. Über dem Rückenmark verzweigt sich die Arterie und anastomosiert mit der A. spinalis anterior.

Die Rr. spinales entspringen aus Ästen folgender großer Arterien:

- A. subclavia (A. vertebralis, A. cervicalis ascendens, A. intercostalis suprema)
- Aorta (Aa. intercostales posteriores, Aa. lumbales) und
- A. iliaca interna (A. iliolumbalis, Aa. sacrales laterales).

Klinischer Bezug

A.-spinalis-anterior-Syndrom: Dieses Syndrom tritt aufgrund der proximal ausgeprägteren Anastomosen v. a. bei distalem Verschluss der A. spinalis anterior auf und ist durch Folgen der Ischämie in den versorgten Arealen gekennzeichnet: Durch Vorderhornschädigung kommt es zur schlaffen Lähmung auf Höhe der betroffenen Segmente. Die Minderdurchblutung der Pyramidenbahn führt zur spastischen Paraparese (s. S. 199) kaudal des Gefäßverschlusses. Die Läsion des Tractus spinothalamicus bedingt eine beidseitige dissoziierte Empfindungsstörung (Ausfall der Schmerz- und Temperaturempfindung bei erhaltener Berührungsempfindung aufgrund intakter Hinterstrangbahn).



Check-up

- ✓ Wiederholen Sie den genauen Verlauf der A. vertebralis.
- ✓ Überlegen Sie, welches Gefäß durch den Sinus cavernosus fließt.
- ✓ Machen Sie sich nochmals die Versorgungsgebiete der Aa. cerebri anterior, media und posterior klar. Rekapitulieren Sie dabei, welche wichtigen funktionellen Zentren im jeweiligen Versorgungsgebiet liegen.

10.3 Die Venen und die Sinus durae matris



Lerncoach

Machen Sie sich das Prinzip des venösen Abflusses des Gehirns klar und konzentrieren Sie sich auf die nur hier vorhandene Besonderheit: die Sinus durae matris. Sie werden häufig abgefragt.

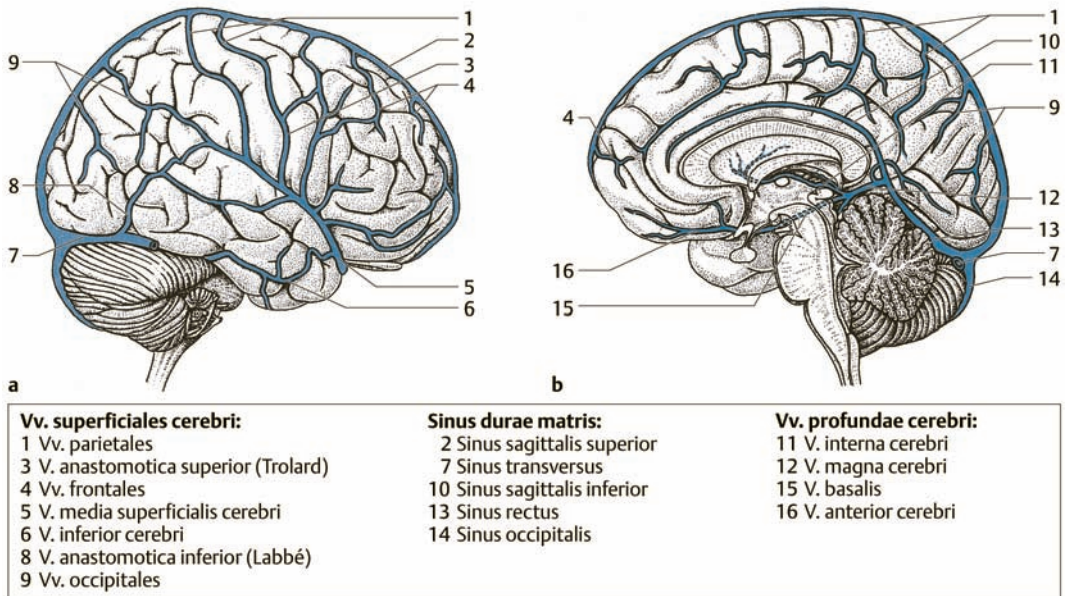


Abb. 10.7 Oberflächliche Venen des Gehirns (Vv. superficiales cerebri) in der Ansicht von lateral (a) und von medial mit einigen wichtigen tiefen Hirnvenen (b)

Die dünnwandigen Hirnvenen, die *keine* Klappen besitzen, münden in die Sinus durae matrix. Aus diesen wird das venöse Blut zur V. jugularis interna geleitet.

Aufgrund ihrer Lage und ihrer Drainagegebiete unterscheidet man:

- **Vv. superficiales cerebri:** Sie nehmen hauptsächlich Blut aus der Hemisphärenoberfläche (Cortex cerebri und subkortikale weiße Substanz) auf, das direkt in die Sinus durae matrix abfließt.
- **Vv. profundae cerebri:** Die Drainage tiefer gelegener Regionen des End- und Zwischenhirns erfolgt über diese größtenteils verdeckt liegenden Hirnvenen zunächst in die V. magna cerebri, bevor diese es in die Sinus durae matrix weiterleitet.

Anastomosen zwischen Vv. superficiales und profundae cerebri sind im tiefen Marklager nachweisbar.

Der venöse Abfluss aus dem Kleinhirn und Hirnstamm erfolgt entweder direkt in die Sinus oder über die V. magna cerebri.

10.3.1 Die Venae superficiales cerebri

10.3.1.1 Der Verlauf und die Mündung oberflächlicher Hirnvenen

Die oberflächlichen Venen nehmen über kurze Vv. corticales Blut aus der Hirnrinde sowie über längere Vv. medullares Blut aus der weißen Substanz auf. Hinsichtlich ihres Verlaufes und ihrer Einmündung in die Sinus durae matrix zeigen sie erhebliche Variationen. Sie verlaufen im Subarachnoidalraum, orientieren sich aber weder an Arterien noch an definierte Furchen oder Windungen.

Die Arachnoidea durchbrechen diese Venen erst kurz vor ihrer Mündung in die Sinus durae matrix und verlassen somit den Subarachnoidalraum. Ihre Adventitia verschmilzt mit dem straffen Bindegewebe der Dura mater. Diese kurzen subduralen Venenabschnitte bezeichnet man als **Brückenvenen**, die leicht verletzt werden und durch Einblutung einen physiologisch intrakraniell nicht vorhandenen Subduralraum erzeugen können (s. S. 171).

Man unterscheidet folgende oberflächlichen Hirnvenen:

- **Vv. superiores cerebri** mit bogenförmigem Verlauf im oberen Abschnitt der medialen und lateralen Hemisphärenfläche und Mündung in den Sinus sagittalis superior. Zu dieser Gruppe fasst man die Vv. prefrontales, frontales, parietales und occipitales zusammen (Abb. 10.7).
- **V. media superficialis cerebri**: Sie beginnt über dem Gyrus angularis, verläuft durch den Sulcus lateralis, erhält kleinere Zuflüsse aus der Umgebung und mündet meist in den Sinus sphenoparietalis (seltener in den Sinus cavernosus, Sinus petrosus superior oder die V. basalis).
- **Vv. inferiores cerebri** (im Wesentlichen Vv. temporales inferiores) ziehen im unteren Bereich der lateralen Hemisphärenfläche schräg abwärts in den Sinus transversus.

10.3.1.2 Anastomosen zwischen den oberflächlichen Venen

Diese Anastomosen, die über die oberflächlichen Hirnvenen eine Verbindung zwischen verschiedenen Abflussgefäßen darstellen, sind:

- **V. anastomotica superior** (Trolard-Vene): zwischen Vv. parietales und V. media superficialis cerebri, d. h. Verbindung zwischen Sinus sagittalis superior und Sinus sphenoparietalis (bzw. seltener Sinus cavernosus oder Sinus petrosus superior)
- **V. anastomotica inferior** (Labbé-Vene): zwischen V. media superficialis cerebri und einer stärkeren V. temporalis inferior (schräg absteigend); d. h. Trolard-Vene + Labbé-Vene = Verbindung zwischen Sinus sagittalis superior und Sinus transversus.

10.3.2 Die Venae profundae cerebri

Vergleichbar dem Circulus arteriosus cerebri findet sich an der Hirnbasis ein (vom arteriellen Circulus bedeckter) basaler Venenring („Circulus venosus cerebri“), der durch die Vv. basales beider Seiten gebildet wird. Aus ihrer Vereinigungsstelle dorsal des Mittelhirns, an der auch die Vv. internae cerebri münden, geht die **V. magna cerebri** (Galen) hervor. Sie ist nur 1 cm lang, liegt hinter der Epiphyse und mündet in den Anfangsteil des Sinus rectus. Über dieses System, das weitere kleine Venen aufnimmt, wird Blut aus tieferen Hirnstrukturen von End-, Zwischen- und z.T. auch Mittelhirn

sowie basalen und medialen Hemisphärenanteilen geleitet.

Die **V. basalis** (Rosenthal) entsteht im Bereich der Substantia perforata anterior durch die Vereinigung der V. anterior cerebri mit der V. media profunda cerebri. Sie verläuft zunächst mit dem Tractus opticus, dann um die Pedunculi cerebri nach hinten (Cisterna ambiens), wo sie sich mit dem gleichnamigen Gefäß der Gegenseite vereinigt (s. o.).

- Die **Vv. anteriores cerebri** sind durch die V. communicans anterior miteinander verbunden, sodass insgesamt ein geschlossenes venöses Ringsystem entsteht.
- Die **V. media profunda cerebri** verläuft in der Tiefe des Sulcus lateralis (bedeckt von der A. cerebri media).

Die **V. interna cerebri** zieht vom Foramen interventriculare auf dem Dach des III. Ventrikels (zwischen Fornix und Thalamus) nach hinten in Richtung Vierhügelplatte und vereinigt sich mit der V. basalis sowie den beiden entsprechenden Gefäßen der Gegenseite zur V. magna cerebri. Auf ihrem Weg nimmt sie aus ihrer Umgebung zahlreiche Venen auf, die Blut aus inneren Hirnstrukturen führen.

10.3.3 Die Venen des Kleinhirns und des Hirnstamms

Die **Venae cerebelli** münden – mit Ausnahme der V. superior vermis und V. precentralis cerebelli (aus der vorderen und oberen Kleinhirnoberfläche), deren Blut über die V. magna cerebri abfließt, direkt in die Sinus durae matris:

- V. inferior vermis → Sinus rectus
- Vv. superiores und inferiores cerebelli medialis und lateralis (aus dem überwiegenden Teil der Kleinhirnhemisphären) → Sinus transversus
- V. petrosa (aus den vorderen Teilen der Hemisphären) → Sinus petrosus superior.

Die **Venae trunci encephali** bilden insbesondere im kaudalen Hirnstammbereich ein kräftiges longitudinales sowie ein transversales System, die sich nach kaudal in die Rückenmarksvenen fortsetzen. Nach kranial anastomosieren sie mit den basalen Hirnvenen. So drainieren die unterschiedlichen Hirnstamm-Anteile abhängig von ihrer Lage eher über die V. basalis, über angrenzende Kleinhirnvenen (V. petrosa) oder direkt in den nahegelegenen

Sinus marginalis. Eine weitere Möglichkeit ist der Abfluss nach kaudal in die Rückenmarksvenen.

10.3.4 Die Venen des Rückenmarks

Wie bei den Arterien gibt es auch bei der venösen Drainage des Rückenmarks ein vertikales und ein horizontales System, die zusammen das piale Venengeflecht (Vv. perimedullares) bilden. Das vertikale System besteht aus (nur) zwei Gefäßen:

- **V. spinalis anterior** (entlang der Fissura mediana anterior) und
- **V. spinalis posterior** (stärker ausgebildet, entlang dem Sulcus medianus posterior).

Beide Venen sind über horizontale verlaufende dünne Venenkränze miteinander verbunden.

Das Blut aus den Vv. spinales anterior und posterior fließt über **Vv. radicales** (Wurzelveinen) in den **Plexus venosus vertebralis internus** (anterior und posterior), der im Epiduralraum (innen am knöchernen Wirbelkanal) liegt. Die zusammen mit den Spinalnerven verlaufenden Vv. intervertebrales führen das Blut aus dem Plexus venosus vertebralis internus ab in die

- V. vertebralis und V. cervicalis profunda (zur V. subclavia)
- Vv. intercostales (zur V. azygos und V. hemiazygos)
- Vv. lumbales (zur V. lumbalis ascendens)
- V. sacralis lateralis und mediana (zur V. iliaca interna bzw. V. iliaca communis sinistra).

Kranial steht der Plexus venosus vertebralis internus mit dem Sinus marginalis (s.u.) und mit dem Plexus basilaris in Verbindung.

Die **Plexus venosi vertebrales externus anterior** (auf der Vorderfläche der Wirbelkörper) und **posterior** (hinter den Wirbelbögen, bedeckt von der autochthonen Rückenmuskulatur) haben ähnliche Abflüsse wie das innere Venengeflecht und anastomosieren mit ihm. Eine Anastomose ist die V. basivertebralis, die jeweils in einem Wirbelkörper verläuft.

10.3.5 Die Sinus durae matris

10.3.5.1 Der Aufbau und die Funktion

Die Sinus durae matris (s. Tab. 10.7 und Abb. 10.8) sind venöse Blutleiter, die das Blut aus den oberflächlichen und tiefen Hirnvenen drainieren. Ihre

Wände werden von der relativ starren Dura mater gebildet: Sofern sie – wie die meisten Sinus durae matris – dem Schädelknochen in breiten Furchen angelagert sind, liegen sie zwischen periostalem und meningealem Blatt der Dura, andernfalls (z.B. Sinus sagittalis inferior und Sinus rectus) wird ihr gesamtes Lumen vom meningealen Durablatt umgeben. Innen sind die Sinus durae matris von Endothel ausgekleidet, besitzen jedoch keine Klappen, sodass innerhalb des Systems prinzipiell der Blutfluss in beide Richtungen möglich ist. Der Hauptabfluss des Systems erfolgt über den Sinus sigmoideus in die V. jugularis interna, jedoch bestehen nicht nur Verbindungen der Sinus untereinander und zu den Hirnvenen, sondern auch zu extrakraniellen Venen und Venengeflechten, die von klinischer Bedeutung sind (s.u.).

MERKE

Am Confluens sinuum, der an der Protuberantia occipitalis interna liegt, vereinigen sich die unpaaren Sinus sagittalis superior, Sinus rectus und Sinus occipitalis mit dem paarigen Sinus transversus.

10.3.5.2 Die Verbindungen zu extrakraniellen Venen

Die Verbindungen der Sinus durae matris zu extrakraniellen Venen, in denen das Blut in beiden Richtungen fließen kann, ermöglichen z.B. den Ausgleich bei schwankendem intrakraniellen Druck. In diesem Zusammenhang sind folgende Verbindungen relevant:

- **Vv. emissariae** ziehen durch kleinere Öffnungen der Schädelknochen und verbinden verschiedene Sinus durae matris mit den äußeren Kopfvenen sowie mit Vv. diploicae (s.u.). Beispiele sind:
 - Vv. emissariae parietales: zwischen Sinus sagittalis superior und Vv. temporales superficiales
 - Vv. emissariae condylares: zwischen Sinus sigmoideus mit Plexus venosus vertebralis externus
 - Vv. emissariae mastoideae: zwischen Sinus sigmoideus und Vv. auriculares posteriores oder Vv. occipitales

Tabelle 10.7

Sinus durae matris		
Name	Lage und Charakteristika	Verbindungen
<i>unpaar angelegt</i>		
Sinus sagittalis superior	• verläuft in der Medianebene entlang der Anheftungsstelle der Falx cerebri am Schädeldach (von der Crista galli nach hinten bis zur Protuberantia occipitalis interna → hinterlässt als Impression den Sulcus sinus sagittalis superior in Stirn-, Scheitel- und Hinterhauptsbein) • wird von vorne nach hinten breiter • besitzt im Bereich der Scheitelbeine beidseits Lacunae laterales (s. S. 171)	• Aufnahme der Vv. superiores cerebri, Vv. meningeae (aus den Hirnhäuten), Vv. diploicae (aus dem Schädeldach) und Vv. emissariae (von der Außenfläche des Kopfes, s. S. 193) • Mündung in den Confluens sinuum
Sinus sagittalis inferior	• verläuft im freien Rand der Falx cerebri kleinkalibrig	• Mündung in den Sinus rectus
Sinus rectus	• verläuft an der Anheftungsline der Falx cerebri am Tentorium cerebelli	• Aufnahme des Sinus sagittalis inferior und der V. magna cerebri auf • Mündung in den Confluens sinuum
Sinus occipitalis	• liegt in Verlängerung des Sinus sagittalis superior unterhalb des Confluens sinuum an der Anheftungsstelle der Falx cerebelli	• Verbindung zwischen Sinus marginalis und Confluens sinuum
Sinus marginalis	• umfasst das Foramen magnum ringförmig	• Verbindung zwischen Sinus occipitalis, Plexus basilaris* und Plexus venosus vertebralis internus (über das Foramen magnum)
<i>paarig angelegt</i>		
Sinus transversus	• verläuft horizontal entlang der Ansatzlinie des Tentorium cerebelli • hinterlässt an der Squama occipitalis den Sulcus sinus transversus	• Verbindung zwischen Confluens sinuum und Sinus sigmoideus
Sinus sigmoideus	• S-förmig gekrümmt • hinterlässt an der Innenfläche des Processus mastoideus den Sulcus sinus sigmoideus	• Fortsetzung des Sinus transversus Mündung die V. jugularis interna (am Foramen jugulare)
Sinus cavernosus	• schwammartiges Gebilde auf beiden Seiten des Corpus ossis sphenoidale (zwischen Fossa hypophysialis und Cavum trigeminale) • grenzt oben an das Diaphragma sellae • Verbindung von rechtem und linkem Sinus cavernosus über die Sinus intercavernosi anterior und posterior, so dass ein venöser Ring um den Türkensattel entsteht • durchziehende Strukturen: – A. carotis interna – N. abducens (VI) • in seiner lateralen Wand verlaufen von oben nach unten: – N. oculomotorius (III) – N. trochlearis (IV) und – N. ophthalmicus (V₂)	• Aufnahme des Sinus sphenoparietalis • Abfluss über Sinus petrosi superior und inferior • Verbindungen zu: – Plexus basilaris* – Plexus pterygoideus** (über das Foramen ovale) – Vv. ophthalmicae superior und inferior
Sinus sphenoparietalis	• unter der Ala minor des Os sphenoidale	• nimmt meist die V. cerebri media superficialis auf
Sinus petrosus superior	• an der oberen Kante (Margo superior) des Felsenbeins (Pars petrosa ossis temporalis)	• Verbindung zwischen Sinus cavernosus und Sinus sigmoideus
Sinus petrosus inferior	• am Hinterrand (Margo posterior) des Felsenbeins	• Verbindung zwischen Sinus cavernosus und V. jugularis interna

*Venengeflecht auf dem Clivus und verbindet Sinus cavernosus und Sinus marginalis

** Venenplexus der tiefen seitlichen Gesichtsregion

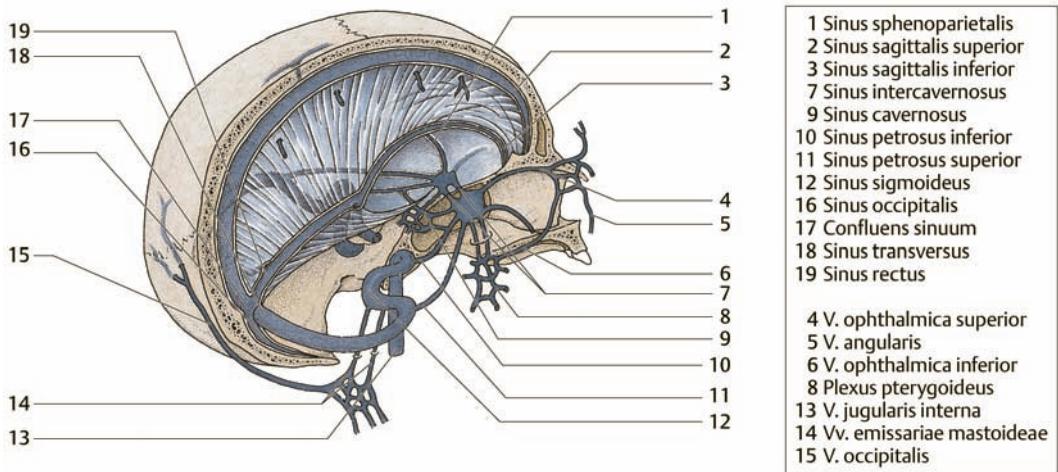


Abb. 10.8 Venöser Abfluss aus dem Schädelinnenraum: Sinus durae matrix mit Verbindungen zu extrakraniellen Venen in der Ansicht von posterolateral

- V. emissaria occipitalis: zwischen Confluens sinuum mit Vv. occipitales.
- **Vv. diploicae** verlaufen in der Diploe (= Spongiosa des Schädeldachs) und stehen ebenfalls sowohl mit den Sinus durae matrix als auch mit den äußeren Kopfvenen in Verbindung.
- Die **V. angularis** als Endast der V. facialis hat über die V. ophthalmica superior Anschluss an den Sinus cavernosus.
- **Venöse Plexus**, die in Begleitung von Arterien und Nerven durch die Schädelbasis ziehen, bilden eine zusätzliche Abflussmöglichkeit über die Venenplexus im Wirbelkanal und den Plexus pterygoideus der seitlichen Gesichtsregion. Letzterer spielt aufgrund seiner zahlreichen Verbindungen zur extra- und intrakraniellen venösen Gefäßen (z.B. im Gesichtsbereich zur V. retro-mandibularis und zur V. profunda faciei als Ast der V. facialis sowie auch zur V. meningea media und zum Sinus cavernosus) eine besonders wichtige Rolle.

Klinischer Bezug

Sinusthrombose: Dieses Krankheitsbild, bei dem ein Sinus durae matrix durch ein Blutgerinnsel verlegt wird, kann nicht nur Folge einer Gerinnungsstörung sein, sondern auch durch Krankheitserreger hervorgerufen werden. Für Letztere bilden die Verbindungen zwischen extrakraniellen Venen und den Sinus durae matrix eine mögliche Eintrittspforte, über die sich zunächst harmlose Infektionen im Bereich des Gesichts oder der Kopfschwarte nach intrakraniell ausbreiten können. Auch der direkte Durchbruch einer eitrigen Entzündung von Nachbarorganen in einen Sinus ist möglich wie z.B. bei einer Mastoiditis (eitrige Einschmelzung der knöchernen Cellulae mastoideae nach nicht ausgeheilte Otitis media, s. S. 235) mit Knochenarrosion und Thrombosierung des benachbarten Sinus sigmoideus.

Neben typischen allgemeinen Symptomen wie z.B. Kopfschmerzen und anderen Zeichen erhöhten Hirndrucks infolge des Blutrückstaus können in Abhängigkeit von der Lokalisation der Thrombose auch spezifische Ausfälle auftreten: So sind z.B. bei einer Sinus-cavernosus-Thrombose die topographisch in enger Beziehung zu ihm verlaufenden Hirnnerven betroffen (zuerst der mitten durch den Sinus cavernosus ziehende N. abducens, dann auch die in seiner Wand verlaufenden Hirnnerven III, IV und V₁).

**Check-up**

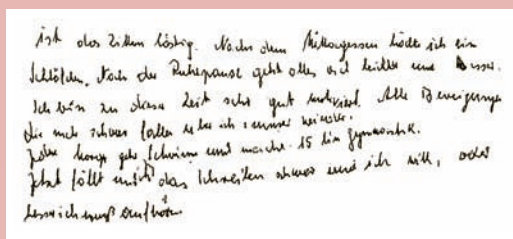
- ✓ Wiederholen Sie, welche Venen jeweils zu den oberflächlichen und zu den tiefen Hirnvenen gehören.
- ✓ Welches venöse Gefäß liegt in der Nähe der Epiphyse?
- ✓ Rekapitulieren Sie, welche Sinus im Confluens sinuum unmittelbar zusammentreffen.
- ✓ Führen Sie sich Lage und Mündung des Sinus sagittalis inferior vor Augen.
- ✓ Machen Sie sich nochmals klar, mit welchen venösen Blutleitern der Sinus cavernosus in Verbindung steht und welche Strukturen topographische Beziehungen zu ihm haben.
- ✓ Wiederholen Sie, welche Funktion die Vv. emissariae erfüllen.



Funktionelle Systeme

- 11.1 Das somatomotorische System 199
- 11.2 Das somatosensible System 205
- 11.3 Das visuelle System 210
- 11.4 Das auditorische System 214
- 11.5 Das vestibuläre System 217
- 11.6 Das olfaktorische und das gustatorische System 218
- 11.7 Das vegetative Nervensystem 221
- 11.8 Das limbische System 227

Gestörte Bewegungsbahnen



Schriftbild eines Patienten mit Morbus Parkinson (Mikrographie).

Ein funktionelles System umfasst mehrere zentralnervöse und z.T. auch periphere „Stationen“, die gemeinsam bestimmte Aufgaben erfüllen. Für das motorische System sind als zentralnervöse Strukturen v.a. der Cortex cerebri, Basalganglienschleifen mit Verbindung zu motorischen Thalamuskernen, das Kleinhirn mit seinen Projektionen sowie pyramidale und extrapyramidale Bahnen von Bedeutung. Tritt eine Störung im Bereich der Basalganglienschleifen auf, so verändern sich das Bewegungstempo, die Haltung und der Muskeltonus des Patienten. Ein Beispiel für eine solche Störung ist Morbus Parkinson. Bei dieser Erkrankung kommt es zur Symptomtrias Tremor (Zittern), Rigor (Starre) und Akinese (Unbeweglichkeit).

Lustlosigkeit und Schulterschmerz

Martin C. ist müde. Seit zwei Wochen schafft er es kaum, sich morgens aus dem Bett zu quälen. Appetitlos und lustlos schleppt er sich durch den Tag. Er fühlt sich unbeweglich und stolpert öfter als früher. Zusätzlich zittert v.a. seine linke Hand seit neuestem, wenn er nichts damit tut.

Noch vor einem halben Jahr war der 57-jährige stets auf Achse. Als engagierter Steuerberater arbeitete er nicht nur im eigenen Büro, sondern fuhr auch oft direkt zu seinen Kunden. Dann begannen eines Tages die Schmerzen in seiner linken Schulter und verschlimmerten sich mit jeder Woche. Auf Rat eines Orthopäden schluckte Martin C. entzündungshemmende Medikamente, die aber wenig halfen. Zu den Schmerzen gesellte sich bald die Lust- und Kraftlosigkeit. Sein Hausarzt sprach von einer Depression und riet ihm, einen Nervenarzt aufzusuchen.

Gestörte Bewegungssteuerung

„Doktor, ich bin heute fast überfahren worden“, berichtet Herr C. dem Facharzt für Neurologie Dr. B. Sauer. „Als ich die Straße überquerte, kam ein Auto von links angefahren. Ich wollte stehen bleiben, schaffte es aber nicht und wäre fast in den Wagen hineingelaufen“, erzählt der Mann relativ ausdruckslos weiter. Als er ihm auch seine anderen Beschwerden schildert, hat der Neurologe bereits einen Verdacht. Er bittet den Steuerberater, einige Sätze zu schreiben. Dabei sieht er, dass die Buchstaben besonders zum Zeilenende hin kaum erkennbar klein werden. Bei der klinischen Untersuchung fällt dem Neurologen eine gewisse Bewegungseinschränkung der Extremitäten auf, die links ausgeprägter ist als rechts. Der Tonus der Arm- und Beinmuskeln scheint insgesamt erhöht zu sein. Als Dr. Sauer den Gang seines Patienten begutachtet, bemerkt er, dass die Schritte des Mannes langsam sind und seine Arme beim Gehen kaum mitschwingen, besonders aber seine linke Hand in Ruhe feinschlägig zittert. Alle klinischen Symptome, die der Neurologe dokumentiert, kann er der typischen Symptomtrias „Rigor, Ruhetremor und Hypo- bis Akinese“ beim Morbus Parkinson zuordnen. Auch die depressive Stimmungslage, Schulterschmerzen und das Alter des Patienten passen zu einer Erstmanifestation dieser Erkrankung.

Therapie: Dopaminagonist

Für die weiterführende Diagnostik schickt Dr. Sauer den Steuerberater in eine neurologische Klinik. Als sich der Patient nach drei Wochen wieder in der Praxis vorstellt, ist dem Entlassungsbericht u.a. zu entnehmen, dass die kraniale Bildgebung unauffällig, aber der L-Dopa-Test positiv war. Letzteres bedeutet, dass sich die Symptome des Patienten nach der Gabe eines L-Dopa-Präparates besserten. Die klinischen Kollegen sind von einem idiopathischen Morbus Parkinson ausgegangen und haben bei Herrn C. eine Therapie mit einem Dopamin-Agonisten begonnen. Von dem Erfolg kann sich Dr. Sauer selbst überzeugen: Die Bewegungen des Patienten verlaufen glatter, die Schulterschmerzen sind schwächer und Herr C. wirkt wieder viel zuversichtlicher.

11 Funktionelle Systeme

In einem funktionellen System werden verschiedene kortikale und nukleäre Hirngebiete und ihre Verknüpfungen mit Blick auf ihre gemeinsame Aufgabe zusammengefasst. Zu den meisten funktionellen Systemen gehören auch Anteile des peripheren Nervensystems.

11.1 Das somatomotorische System



Lerncoach

Die einzelnen Strukturen innerhalb des somatomotorischen Systems kennen Sie größtenteils bereits aus anderen Kapiteln. Konzentrieren Sie sich beim Lesen dieses Abschnitts daher darauf, wie sie untereinander verschaltet sind, um beim Ausführen einer Bewegung mitwirken zu können.

11.1.1 Der Überblick

Planung und Initiierung von Bewegungen erfolgen im Wesentlichen im prämotorischen und supplementär motorischen Kortex (s. S. 153). Diese erhalten Rückkopplungen aus motorischen Thalamuskernen (s. S. 131) und über diese indirekt v. a. aus den Basalganglien und dem Kleinhirn. Darüber können initiierte Bewegungen abgestimmt und moduliert werden. Vom prämotorischen Kortex wird das abgestimmte Bewegungsprogramm an den primär motorischen Kortex weitergeleitet. Hier liegen die Betz-Riesenzellen, die den Ursprung der Pyramidenbahn bilden. Als **Pyramidenbahn** wird die direkte und schnelle (monosynaptische) Verbindung vom primär motorischen Kortex (**1. motorisches Neuron**) zu den Motoneuronen im Hirnstamm bzw. Rückenmark (**2. motorisches Neuron**) bezeichnet, die im Wesentlichen der *Willkürmotorik* dient. Sie besteht aus:

- **Fibrae corticonucleares**, die an den motorischen Hirnnervenkernen im Hirnstamm enden, und
- **Fibrae corticospinales**, die sich als **Tractus corticospinalis** fortsetzen und direkt oder meist über Interneurone auf α -Motoneurone im Vorderhorn des Rückenmarks projizieren.

Letztere innervieren die Skelettmuskulatur in der Peripherie mit dem Erfolg der Muskelkontraktion.

Klinischer Bezug

Motorische Ausfallserscheinungen: Je nach Ort der Läsion innerhalb des somatomotorischen Systems kann es zu sehr unterschiedlichen klinischen Syndromen kommen. Sind Strukturen der modulierenden Rückkopplungsschleifen geschädigt, führt dies nicht zu Lähmungen der Muskulatur, sondern zu Störungen des Bewegungsablaufs (s. Parkinson-Syndrom, s. S. 203 und Kleinhirnerkrankungen, s. S. 119). Schädigungen des 1. oder 2. motorischen Neurons dagegen haben partielle Lähmungen (**Paresen**) oder einen kompletten Ausfall der Muskulatur (**Plegie**) zur Folge.

Dabei ist eine Läsion des *1. motorischen Neurons* im Gehirn oder Rückenmark (mit Ausnahme der akuten Phase, s. S. 87) durch eine *spastische Parese* mit Tonuserhöhung, gesteigerten Muskeleigenreflexen, positiven Pyramidenbahnzeichen und abgeschwächten Fremdreflexen bei herabgesetzter Muskelkraft gekennzeichnet (*zentrale Parese* durch Wegfall des hemmenden Einflusses auf γ -Motoneurone). Ist das *2. motorische Neuron* geschädigt, tritt eine *schlaffe Lähmung* auf, bei der begleitend zur herabgesetzten Muskelkraft auch der Tonus und die Muskeleigenreflexe abgeschwächt sind. Auch setzt schnell eine Atrophie der betroffenen Muskeln ein. Da bis auf das Perikaryon im Vorderhorn des Rückenmarks der längste Anteil des betroffenen Neurons (Axon) zum PNS zählt, spricht man auch von einer *peripheren Lähmung*. Durch gezieltere neurologische Untersuchung lassen sich dann Rückschlüsse auf den wahrscheinlichen Ort der neuronalen Läsion (Vorderwurzel, peripherer Nerv) oder eine muskuläre Ursache ziehen. Sind sowohl das 1. als auch das 2. motorische Neuron betroffen (wie z. B. bei der **Amyotrophen Lateralsklerose = ALS**), kommt es zur Kombination von Muskelatrophie (durch Untergang von Motoneuronen) und Spastizität mit Pyramidenbahnzeichen (durch Seitenstrangbefall). Diese degenerative Erkrankung verläuft unaufhaltsam progredient.

Der unwillkürlichen Steuerung und Koordination der Somatomotorik dient das so genannte **extrapyramidal-motorische System**, das jedoch funktionell mit dem pyramidal-motorischen System eng verknüpft ist: Kollateralen der Pyramidenbahn ziehen – genau wie die Fasern aus dem prämotorischen und supplementär motorischen Kortex – sowohl zu

subkortikalen Kerngebieten als auch über den Pons zum Kleinhirn. So entstehen polysynaptische Verbindungen im Sinne von Rückkopplungsschleifen:

- Die **Verschaltungen der Basalganglien** sind für die Ausführung komplexer erlernter Bewegung (z.B. Schreiben) von großer Bedeutung.
- Für den geordneten Ablauf einer Bewegung sind zudem **Kleinhirnschleifen** von Bedeutung, in die neben dem Cerebellum z.B. die Ponskerne, der untere Olivenkomplex und (als Zwischenstation) der Nucleus ruber eingebunden sind. Die „Stationen“ dieser Rückkopplungsschleifen stehen mit weiteren Hirnstammstrukturen in Verbindung, die ebenfalls Einfluss auf die Motorik nehmen.

Efferenzen aus vielen der beteiligten Kerngebiete (Kleinhirnerne, Ncl. ruber, Colliculi superiores, Complexus olivaris inferior = untere Olive, Formatio reticularis und Vestibulariskerne), die als extrapyramidale Bahnen zusammengefasst werden können, dienen der unwillkürlichen Steuerung und Koordination der Somatomotorik.

11.1.2 Das pyramidal-motorische System

Die Pyramidenbahn (**Tractus pyramidalis**, Abb. 11.1) ist für die willkürliche Motorik verantwortlich. Sie übermittelt v. a. Signale vom motorischen Kortex

- an motorische Hirnnervenkerne im Hirnstamm über **Fibrae corticonucleares**
- an Motoneurone im Vorderhorn des Rückenmarks über **Fibrae corticospinales**.

Die Axone der Pyramidenbahn enden kontralateral und haben Glutamat als Transmitter. Der *Ursprung* dieses Fasersystems liegt hauptsächlich im primär motorischen Kortex (Gyrus precentralis, Area 4, s. Betz-Riesenpyramidenzellen, S. 153), prämotorischen und supplementär motorischen Kortex (s. S. 153) sowie dem Kortex für die Okulomotorik (frontales Augenfeld im Gyrus frontalis medius, s. S. 146).

Ein kleiner Teil stammt aus dem somatosensorischen Kortex (s. u.). Nach dem Verlassen des Kortex bilden die Fasern der Pyramidenbahn einen Teil der Corona radiata (s. S. 163) und verlaufen dann – weiterhin immer somatotop geordnet – durch die Capsula interna (Genu und Crus posterior, s. Tab. 8.2, S. 163). Weiter ziehen die Fasern durch den mittleren Teil der mesenzephalen Crura cerebri.

Im Pons (Pars basilaris) ist die Pyramidenbahn in Faserbündel aufgespalten (als Teil der Fibrae pontis longitudinales, s. S. 98). Auf der ventralen Seite der Medulla oblongata vereinigen sich die Faserbündel zu einem Strang (→ Pyramis).

Während ihres Verlaufs durch den Hirnstamm verlassen die Fibrae corticonucleares auf unterschiedlichen Höhen die Pyramidenbahn, um an motorischen Hirnnervenkernen zu enden. Am Ende der Medulla oblongata liegen somit nur noch Fibrae corticospinales vor.

Die Mehrzahl dieser Fasern (ca. 70–90 %) kreuzen hier in der Decussatio pyramidum, um *kontralateral* als **Tractus corticospinalis lateralis** im Funiculus lateralis des Rückenmarks abzustiegen. Die nicht gekreuzten Fasern verlaufen als **Tractus corticospinalis anterior ipsilateral** im Funiculus anterior abwärts, um dann auf Höhe ihres Zielsegments die Seite zu kreuzen.

Die Fibrae corticonucleares kreuzen zur Gegenseite und enden an den motorischen Hirnnervenkernen V, VII, IX, X, XI und XII (direkt an Motoneuronen oder über Interneurone). Die Kerne V, IX und X werden zudem von ipsilateralen Fasern erreicht. Der Faserverlauf zum Kern des N. facialis ist differenziert, s. S. 69.

Das frontale Augenfeld entsendet Fibrae corticonucleares, die im Hirnstamm abzweigen und u. a. zur Area pretectalis, zum Colliculus superior und zur Formatio reticularis ziehen. Nach Umschaltung erfolgt dann die Projektion auf die Hirnnervenkerne III, IV und VI.

Die Fasern, die aus den o.g. motorischen Kortexarealen stammen, *enden* an:

- α -Motoneuronen (direkt, nur ein geringer Teil der Fasern), deren Axone das Rückenmark über die Vorderwurzel verlassen, um die quergestreifte Skelettmuskulatur zu innervieren (s. motorische Endplatte, S. 9)
- Interneuronen, die dann die Signale zu α -Motoneuronen leiten
- Interneuronen, die die Signale über weitere Interneurone an α -Motoneurone leiten.

11.1.3 Das extrapyramidal-motorische System

Das extrapyramidal-motorische System dient der Abstimmung unterschiedlicher motorischer Programme im Rahmen einer Bewegungsvorbereitung.

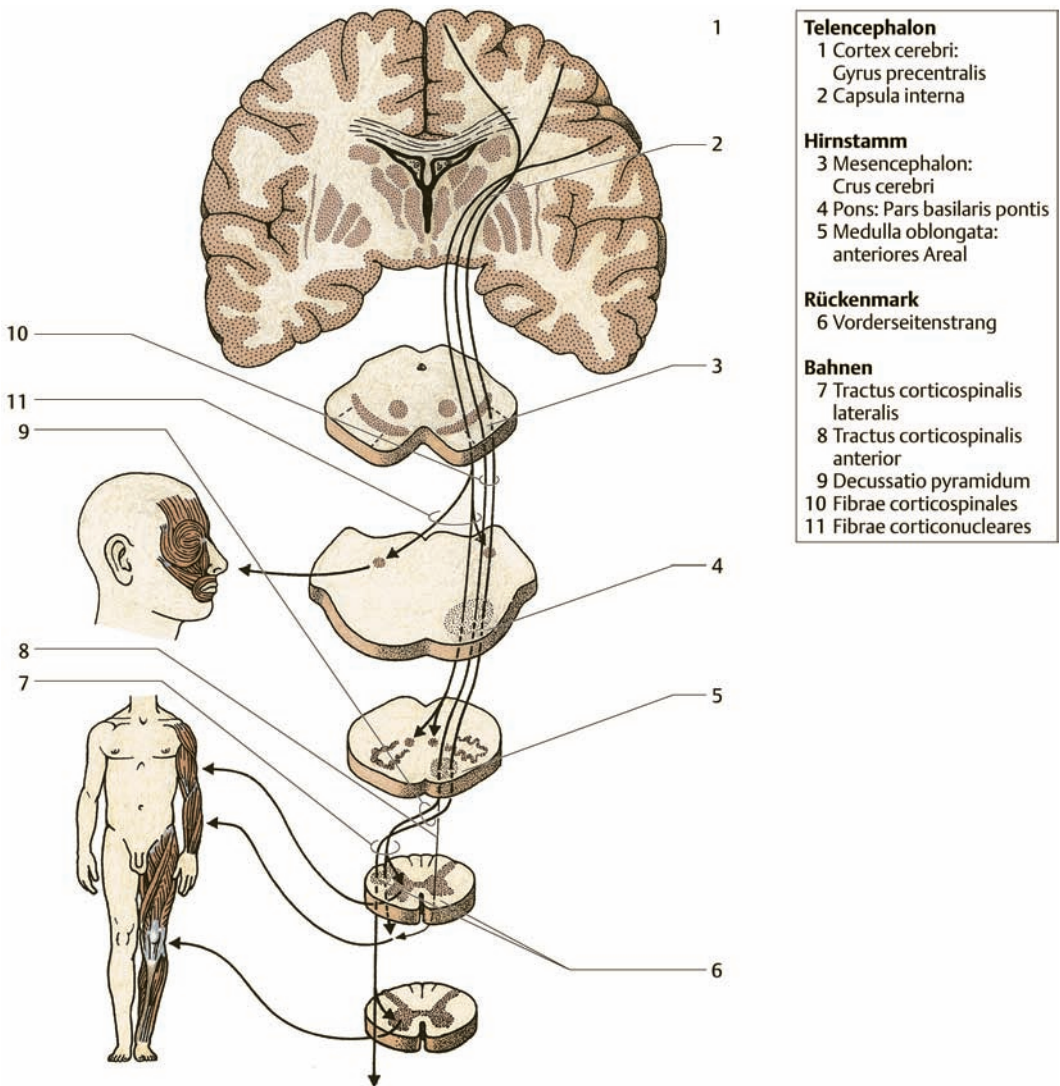


Abb. 11.1 Verlauf der Pyramidenbahn

Es kann als eine Art „Servo-System“ für die Pyramidalmotorik aufgefasst werden, indem es „glatte“ Bewegungen mit ermöglicht.

11.1.3.1 Die Basalganglienschleifen

Bei den Basalganglienschleifen (Abb. 11.2) handelt es sich um polysynaptische Schleifen, die mit dem Kortex in Verbindung stehen.

Die **Hauptschleife** (auch als **direkter Weg** der Basalganglienschaltung bezeichnet) enthält das Striatum (Nucleus caudatus und Putamen), den Globus

pallidus medialis und die Nuclei ventrales anteriores und laterales des Thalamus.

Das Striatum erhält Afferenzen aus allen Kortexarealen (Transmitter: Glutamat → exzitatorisch), über die Fibrae nigrostriatales aus der Pars compacta der Substantia nigra (Transmitter: Dopamin → je nach Rezeptor unterschiedliche Wirkung, s. u.) und aus dem Ncl. centromedianus des Thalamus (Transmitter: Glutamat).

Es projiziert hemmend (Transmitter: GABA) zum Globus pallidus medialis. Von dort zieht (genau wie

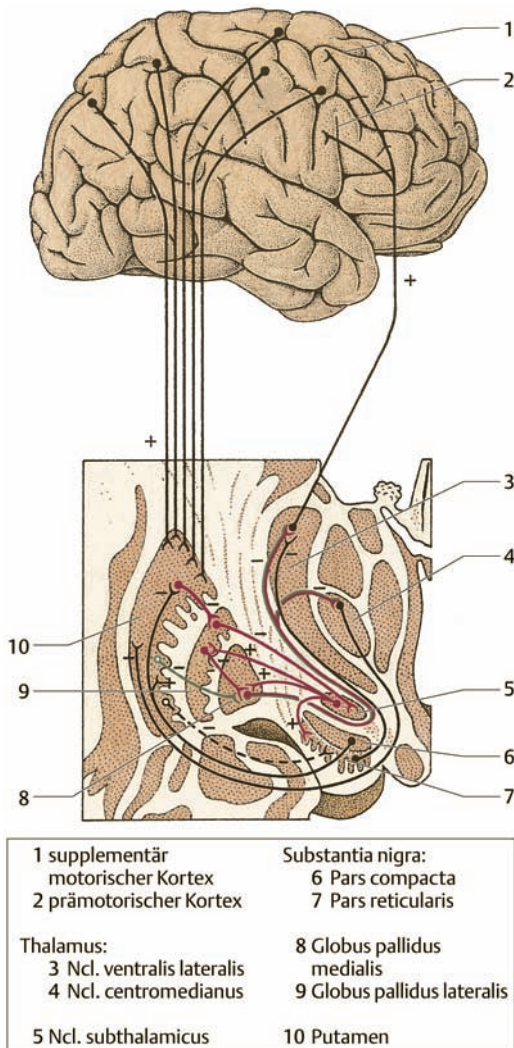


Abb. 11.2 Basalganglienschleifen (grün = Hauptschleife, pink = Nebenschleifen) und ihre Verknüpfungen mit motorischen Kortexarealen
Stellvertretend für das Striatum ist hier nur das Putamen dargestellt.

von der Pars reticularis der Substantia nigra) eine hemmende Projektion zu den Nuclei ventrales anteriores und laterales des Thalamus. Letztere schicken erregende Fasern zum prämotorischen und supplementär motorischen Kortex, von wo aus ein Anschluss an das pyramidal-motorische System gegeben ist. Die Projektion des Striatum zum Globus pallidus medialis (in der *Hauptschleife*) ist also letztlich *motorikfördernd*: Striatum hemmt Globus pallidus medialis → Globus pallidus medialis

hemmt vermindert Thalamuskern → Thalamuskern *aktivieren vermehrt* den Kortex.

Die **Nebenschleifen** (auch als **indirekter Weg** der Basalganglienschaltung bezeichnet) modulieren den Informationsfluss in der Hauptschleife. Dabei projizieren die Efferenzen des Striatum nicht direkt in den Globus pallidus medialis und die Substantia nigra (Pars reticularis), sondern über „Zwischenstationen“ im Globus pallidus lateralis und Ncl. subthalamicus. Weitere Verbindungen entsprechen denen der Hauptschleife.

Wie das Striatum erhält der Nucleus subthalamicus erregende Afferenzen aus dem Kortex und projiziert zum Globus pallidus medialis und zur Substantia nigra, Pars reticularis. Diese Projektionen des Ncl. subthalamicus sind exzitatorisch. Das heißt, im Globus pallidus medialis können diese exzitatorischen Impulse die inhibitorischen Signale aus dem Striatum (s. Hauptschleife) sowie die aus dem Globus pallidus lateralis abtufen.

Der Nucleus subthalamicus wird durch den Globus pallidus lateralis gehemmt. Letzteres wird wiederum durch das Striatum gehemmt (Transmitter: GABA). Das bedeutet, die Projektion vom Striatum zum Globus pallidus lateralis ist letztlich *motorikhemmend*: Striatum hemmt Globus pallidus lateralis → Globus pallidus lateralis *hemmt vermindert* Nucleus subthalamicus → Nucleus subthalamicus *aktiviert vermehrt* Globus pallidus medialis → Globus pallidus medialis *hemmt vermehrt* Thalamuskern → Thalamuskern *aktivieren vermindert* den Kortex. Die Aktivität des motorischen Kortex wird also durch Inhibition und Disinhibition der motorischen Thalamuskern reguliert, was insbesondere bei der Bewegungsplanung von Bedeutung ist.

MERKE

Das Striatum empfängt dopaminerge Fasern von der Substantia nigra (Pars compacta) und glutamaterge Fasern vom Cortex cerebri. Striatale Efferenzen sind GABAerg. Sie ziehen weder direkt zum Rückenmark noch direkt zurück zum Kortex, sondern u. a. zu beiden Anteilen des Globus pallidus. So bewirken sie über die Hauptschleife (direkter Weg) eine Steigerung, über die Nebenschleifen (indirekter Weg) eine Hemmung der motorischen Aktivität.

Der Informationsfluss in direktem und indirektem Weg kann durch weitere Projektionen in diese Schaltkreise hinein modifiziert werden. Die dopaminergen Neurone der Substantia nigra (Pars compacta) inhibieren den motorikhemmenden Teil des Striatum (über D2-Rezeptoren) und erregen mit einigen Fasern den motorikfördernden Teil des Striatum (über D1-Rezeptoren). D.h. diese Projektion hat einen fördernden Einfluss auf die Motorik.

MERKE

Die dopaminergen Fasern aus der Pars compacta der Substantia nigra haben (über verschiedene Dopaminrezeptoren im Striatum) unterschiedliche Auswirkungen auf die Motorik.

Klinischer Bezug

Morbus Parkinson: Durch den Untergang der dopaminergen Neurone in der Substantia nigra kommt es zu

- verminderter Aktivierung des motorikfördernden Teils (direkter Weg) des Striatum, d. h. *die inhibitorische Wirkung des Globus pallidus medialis ist verstärkt*
- verminderter Hemmung des motorikhemmenden Teils (indirekter Weg) des Striatum; das bedeutet: vermehrte Hemmung des Globus pallidus lateralis → verminderte Hemmung des Nucleus subthalamicus → vermehrte Erregung des Globus pallidus medialis, d. h. *die inhibitorische Wirkung des Globus pallidus medialis ist verstärkt*.

Insgesamt wird über beide Wege die hemmende Wirkung des Globus pallidus medialis auf den Thalamus gesteigert und motorikfördernde Effekte der thalamokortikalen Verbindung reduziert. Dies führt zu einer allgemeinen Reduktion einer spontanen Bewegung, **Akinese** (oder Hypokinese). Der Ablauf von Bewegungen ist verlangsamt und Mitbewegungen sind aufgehoben (fehlendes Schwingen der Arme beim Gehen). Es sind ferner zu beobachten: eine starre Mimik (Maskengesicht), seltener Lidschlag, Mikrographie, Schluckstörungen, undeutliche und monotone Artikulation, Gangstörungen (z. B. kurze Schritte, Füße werden kaum angehoben), Haltungsänderung (nach vorn gebeugter Kopf und Rumpf sowie leicht angewinkelte und adduzierte Arme, s. Abb. 11.3), herabgesetzte reflektorische Ausgleichsbewegungen (→ Stolpern, gehäuft Stürze).



Abb. 11.3 Haltung eines Parkinson-Kranken

Die Reduktion der dopaminergen Projektion zum Striatum führt zu einer Aktivitätssteigerung von cholinergen Interneuronen im Striatum. Das cholinerge Übergewicht wird für die Symptome **Ruhetremor** (Pillendrehen) und **Rigor** verantwortlich gemacht. Der Rigor ist ein erhöhter Muskeltonus. Bei passiver Bewegung im Handgelenk bemerkt der Untersucher einen gleichmäßig anhaltenden Widerstand, der ruckartige Unterbrechungen aufweist (**Zahnradphänomen**).

Auch **limbische Schleifen** beeinflussen die Signalübertragung im direkten und indirekten Weg (Psychomotorik). Die Pars reticularis wird durch Axone aus den striatalen Striosomen gehemmt, die selbst Afferenzen aus limbischen Kortexarealen bekommen.

Der Globus pallidus medialis erreicht mit seinen Axonen nicht nur die motorischen Nuclei ventralis

anterior und lateralis, sondern auch den Nucleus centromedianus.

Letzterer projiziert auch zu limbischen Kortexarealen und frontalen Assoziationsarealen. Zudem ziehen auch Projektionen aus dem Corpus amygdaloideum zum Striatum (→ Beteiligung der Basalganglien an emotionalen Prozessen).

Ferner lässt sich eine **thalamische Nebenschleife** nachweisen:

Die intralaminären Kerne des Thalamus, die inhibitorische Afferenzen aus dem Globus pallidus medialis erhalten, erregen das Striatum. Letztes inhibiert vermehrt den Globus pallidus medialis.

11.1.3.2 Die Kleinhirnschleifen

Das Kleinhirn kann keine Bewegungen initiieren. Es ist unbewusst u. a. für *Kontrolle von Muskeltonus, Gleichgewichtserhaltung, Korrekturen und Glättung von Bewegungsabläufen* verantwortlich (s. Kapitel 6, S. 117).

Diese Leistungen werden durch die so genannten Kleinhirnschleifen erreicht. Dazu steht das Kleinhirn sowohl mit dem Kortex (afferent über die Ponskerne und efferent über den motorischen Thalamus) als auch mit verschiedenen subkortikalen Zentren, die im Rahmen der Motorik eine Rolle spielen, in Verbindung. Eine direkte Verbindung besteht z. B. zum Ncl. ruber (s. S. 101) und der unteren Olive (Complexus olivaris inferior, s. S. 96), die beide auch kortikale Afferenzen erhalten. Ebenfalls besteht eine Rückkoppelung zwischen Kleinhirn und Formatio reticularis (s. S. 102) sowie Vestibulariskernen (s. S. 217). Die Ausbildung von Rückkopplungsschleifen lässt sich vereinfacht entsprechend der funktionellen Kleinhirnanteile (s. S. 119) mit Afferenzen der drei Rindenareale, Projektion in die verschiedenen Kleinhirnerne und deren efferenten Verbindungen beschreiben:

- Das **Pontocerebellum** erhält via Brückenkerne Afferenzen aus nahezu allen Kortexarealen. Über den **Ncl. dentatus** mit Efferenzen zu motorischen Thalamuskernen, die wiederum zu motorischen Kortexarealen projizieren, ist es an der *Planung und Ausführung von Bewegungen* beteiligt. Zudem besteht von ähnlichen Rindenarealen ausgehend eine Schleife, die das Kleinhirn ebenfalls über den Ncl. dentatus verlässt und über den Ncl. ruber (Pars parvocellularis) sowie

die untere Olive wieder dort ankommt. Die Funktion dieser Neuronenkette ist die präzise Ausführung von Bewegungen (→ *Zielmotorik, Sprechmuskulatur*).

- Einen ähnlichen Weg nehmen auch Efferenzen der **Ncl. globosi** und **emboliformis**, mit dem Unterschied, dass sie die Pars magnocellularis des Ncl. ruber erreichen. Hier beginnt der Tractus rubrospinalis (s. S. 205). Spinozerebelläre Afferenzen erreichen wiederum Rindenareale des nach ihnen benannten **Spinocerebellum**, die auf die Ncl. globosi und emboliformis projizieren. Über diese Verbindungen kann das Kleinhirn regulierend auf den Muskeltonus einwirken.
- Neben Afferenzen aus den Vestibulariskernen erhalten zum **Vestibulocerebellum** zählende Rindenregionen von Vermis und Lobus anterior auch Signale aus der Formatio reticularis. Rückläufige Fasern verlassen das Kleinhirn größtenteils über den **Ncl. fastigii**. Die Tractus vestibulo- und reticulospinalis spielen für die *Gleichgewichtsregulierung* und die *Stützmotorik* eine Rolle. Zudem kann das Vestibulocerebellum über seine Projektion zu den Vestibulariskernen, die wiederum mit den Augenmuskelkernen in Verbindung stehen, die Blickmotorik beeinflussen.

So sind also verschiedene Hirnstammstrukturen in die Kleinhirnschleifen eingebunden, über die Informationen des Kleinhirns weitergegeben werden. Die Motoneurone im Rückenmark werden dabei von den subkortikalen Zentren über die extrapyramidalen Bahnen (s. u.) weitergeleitet. Über die sensiblen Bahnen des Rückenmarks ist dann wiederum eine Rückmeldung an das Kleinhirn und – über den Thalamus – an den somatosensorischen Kortex möglich. Durch das enge funktionelle Zusammenwirken von motorischem und somatosensiblen System erklärt sich der Begriff „Sensomotorik“.

11.1.3.3 Die extrapyramidalen Bahnen

Die extrapyramidalen Bahnen entspringen von subkortikalen motorischen Zentren, die u. a. Verbindungen mit unterschiedlichen Arealen des zerebralen Kortex und dem Kleinhirn haben.

Sie verlaufen im Vorderseitenstrang des Rückenmarks und enden direkt oder unter Vermittlung von Interneuronen überwiegend an γ -Motoneuronen, deren Axone intrafusale Muskelfasern von

Muskelspindeln erreichen (seltener ziehen sie auch zu α -Motoneuronen).

Der Tractus reticulospinalis

Aus der Formatio reticularis entspringen:

- auf Höhe des Pons: Tractus pontoreticulospinalis (verläuft ipsilateral)
- auf Höhe der Medulla oblongata: Tractus bulbo-reticulospinalis (verläuft ipsi- und kontralateral).

Die Bahnen erregen Rumpfmuskulatur und proximale Extremitätenmuskeln.

Der Tractus rubrospinalis

Diese Bahn ist beim erwachsenen Menschen nur wenig ausgeprägt und erreicht nach Kreuzung in der mesenzephalen Decussatio tegementalis anterior nur das zervikale Rückenmark. Sie hat exzitatorische Effekte auf Flexoren und inhibitorische auf Extensoren.

Der Tractus tectospinalis

Der Tractus tectospinalis entspringt im Colliculus superior (visuelles Reflexzentrum) der Vierhügelplatte, kreuzt in der Decussatio tegementalis dorsalis und zieht im Vorderstrang zum Zervikalmark. Er koordiniert Kopf- und Halsbewegungen (bei Blickbewegungen).

Die Tractus vestibulospinales

Die Tractus vestibulospinales medialis und lateralis (größtenteils ipsilateral verlaufend) bewirken eine Erhöhung des Tonus in den Extensoren bei gleichzeitiger Entspannung der Beuger.

Der Tractus olivospinalis

Diese Bahn kommt von den Nuclei olivares inferiores. Ihre Ausprägung und Bedeutung beim Menschen ist nicht genau bekannt.



Check-up

- ✓ **Rekapitulieren Sie die Faserverbindungen des Striatum und nutzen Sie in diesem Zusammenhang die Gelegenheit, den Inhalt von S. 157 zu wiederholen.**

11.2 Das somatosensible System



Lerncoach

In den somatosensiblen/-sensorischen Teilsystemen sind (mit Ausnahme der Weiterleitung von Tiefensensibilität) drei Neurone hintereinander geschaltet: das erste außerhalb des ZNS, das zweite im Rückenmark oder Hirnstamm, das dritte im Thalamus. Nutzen Sie diese grundsätzliche Gemeinsamkeit als Hilfe, um sich Umschaltort und Verlauf (Kreuzungsstelle) innerhalb der einzelnen Bahnsysteme klarzumachen. So fällt es Ihnen leichter, sich auch die ebenfalls vorhandenen Unterschiede einzuprägen.

11.2.1 Der Überblick

Im somatosensiblen System werden verschiedene Reize über unterschiedliche Rezeptoren aufgenommen. Man unterscheidet:

- **Oberflächensensibilität:** Berührung/Tastempfindung, Druck, Vibration, Wärme, Kälte, Schmerz → über **Exterozeptoren:** u.a. Mechanorezeptoren, Thermorezeptoren, Nozizeptoren
- **Tiefensensibilität (Propriozeption):** Stellung der Gelenke, Geschwindigkeit und Richtung von Bewegungen, Muskelkraft für die Bewegungen → über **Propriozeptoren:** u.a. Muskel- und Sehnen-spindeln, Gelenkrezeptoren.

Die Reize werden über periphere Nerven in das Rückenmark bzw. in den Hirnstamm geleitet. Im ZNS erfolgt nach Umschaltung auf ein zweites Neuron die Weiterleitung zum Thalamus oder zum Kleinhirn (Endziel). Im Thalamus findet die Umschaltung auf ein drittes Neuron statt, das zur Endhirnrinde (Endziel) projiziert.

Es werden zwei Wege im somatoafferenten System unterschieden:

- **spinoafferentes System:** über das Rückenmark (für den Körper ohne Kopf)
- **trigeminoafferentes System:** über den Hirnstamm (für den Kopf, hier vor allem über den N. trigeminus).

11.2.2 Das Verschaltungsprinzip somatoafferenter Bahnen

Der Weg vom peripheren Rezeptor bis zum somatosensorischen Kortex besteht im Allgemeinen aus drei hintereinander geschalteten Neuronen:

- **1. Neuron:** Perikarya im Spinalganglion (s. S. 33)
- Umschaltung auf **2. Neuron** im Rückenmark oder in der Medulla oblongata → Kreuzung der Axone (des 2. Neurons) auf Rückenmarksebene oder im Hirnstamm
- Umschaltung auf das **3. Neuron** im Thalamus → Projektion des 3. Neurons zum Kortex.

Ausnahmen von diesem Verschaltungsprinzip bilden die spinozerebellären Bahnen und die Fortleitung trigeminaler Propriozeption.

11.2.3 Die spinoafferenten Systeme

Die Lage des 2. Neurons, der Ort der Kreuzung und die Funktionen (geleitete Sinnesmodalität) unterscheiden sich in den Systemen der spinoafferenten Bahnen:

- Hinterstrangsystem
- Vorderseitenstrangsystem
- spinozerebelläres System.

11.2.3.1 Das Hinterstrangsystem (mediales Lemniskussystem)

Funktionen: I Fein diskriminierende Mechanosensibilität, bewusste Propriozeption (besonders aus Muskel- und Sehnenrezeptoren).

1. Neuron: I Die Perikarya des sog. primär afferenten Neurons (s. S. 6) liegen im Spinalganglion. Die Axone lagern sich als **Fasciculus gracilis** und **Fasciculus cuneatus** zusammen (s. Tractus spinobulbaris, S. 82).

2. Neuron: I Die Perikarya liegen im **Nucleus gracilis** (für die untere Körperhälfte) und **Nucleus cuneatus** (für die obere Körperhälfte mit Ausnahme des Gesichts). Ihre Axone *kreuzen* in der Medulla oblongata als Fibrae arcuatae internae in der **Decussatio lemnisci medialis**.

3. Neuron: I Die Perikarya liegen im Nucleus ventralis posterolateralis (**VPL**) des Thalamus. Ihre Axone enden im Gyrus postcentralis.

MERKE!

Die Perikarya der Axone, die im Lemniscus medialis verlaufen, liegen in den Nuclei cuneatus und gracilis.

11.2.3.2 Das Vorderseitenstrangsystem (anterolaterales System)

Die Funktionen und Anordnung der Neurone

Funktionen: I Schmerz, Temperatur und grobe Mechanorezeption (Tast- und Berührungsempfindungen).

1. Neuron: I Die Perikarya befinden sich im Spinalganglion. Die Axone des ersten Neurons gelangen über das laterale Bündel der Hinterwurzel zum Rückenmark und teilen sich T-förmig im **Tractus posterolateralis** (s. S. 81). Diese Fortsätze verlaufen einige Segmente auf- und abwärts, bevor sie in das Hinterhorn eintreten.

2. Neuron: I Im Hinterhorn des Rückenmarks liegen die Perikarya (s. S. 83), deren Axone in der Commissura alba anterior zur Gegenseite *kreuzen* und größtenteils als **Tractus spinothalamicus (lateralis** für Schmerz und Temperatur; **anterior** für grobe Mechanorezeption) im Seitenstrang zum Thalamus aufsteigen.

3. Neuron: I Diese Perikarya liegen im Nucleus ventralis posterolateralis (VPL) bzw. in intralaminären Kernen, die zugehörigen Axone projizieren zum somatosensorischen Kortex bzw. in unspezifische Kortexareale.

Klinischer Bezug

Chordotomie: Bei schwersten einseitigen Schmerzzuständen infolge maligner Tumoren kann eine perkutane zervikale Chordotomie durchgeführt werden. Dabei wird die Schmerzbahn kontralateral einseitig lädiert (z. B. durch Elektrokoagulation). Bei dem Eingriff ist die Nachbarschaftsbeziehung des Tractus spinothalamicus zur Pyramidenbahn zu beachten. Nach einem solchen Eingriff ist auch das Temperaturempfinden gestört.

Die Weiterleitung von Schmerzsignalen

Die Registrierung von Schmerz erfolgt über freie Nervenendigungen, die als **Nozizeptoren** anzusehen sind. Es werden unterschieden:

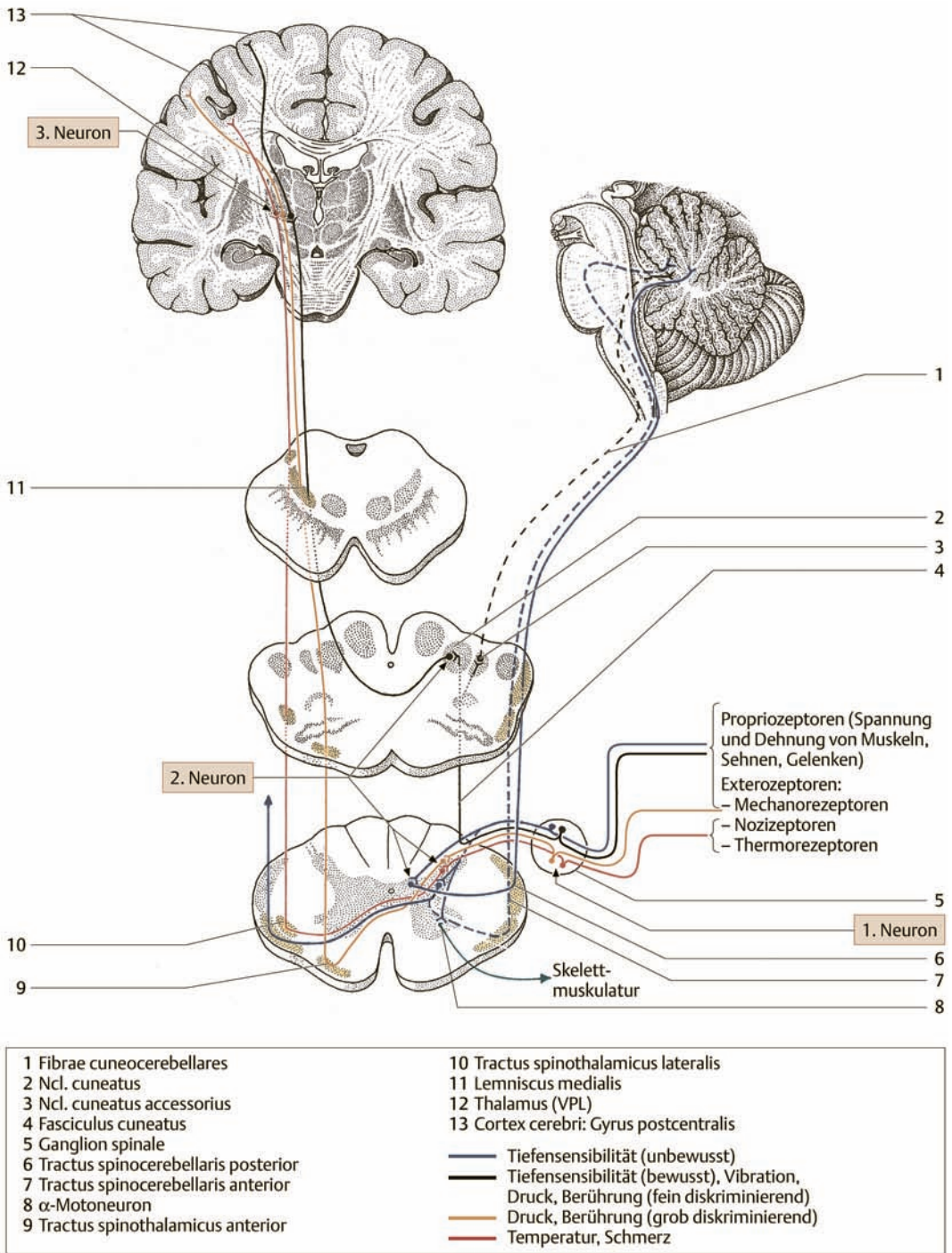


Abb. 11.4 Übersicht spinoafferenter Bahnen

- mechanische Nozizeptoren (Ansprechen auf z. B. Kneifen, Quetschen, Stich)
- thermische Nozizeptoren (Ansprechen auf z. B. Hitze)
- polymodale Nozizeptoren (Ansprechen auf verschiedene Reize, z. B. auch chemische Schmerzreize).

Nach dem Ort des Schmerzreizes kann man zwischen folgenden **Schmerzformen** unterscheiden:

- somatischer Schmerz: oberflächlich aus der Haut oder tief aus z. B. Knochen und Gelenken und
- viszeraler Schmerz: aus Eingeweiden (z. B. bei Koliken oder Entzündungen). Die Weiterleitung erfolgt immer über unmyelinisierte Fasern, ist jedoch sonst derjenigen somatischer Schmerzen vergleichbar (s. auch Head-Zonen) und wird daher nicht gesondert abgehandelt.

Die Schmerzleitung aus den Nozizeptoren erfolgt über:

- myelinisierte **A δ -Fasern** (s. S. 14) → schneller Schmerz, genau lokalisiert (Leitungsgeschwindigkeit: 12 bis 30 m/s)
- nicht-myelinisierte **C-Fasern** (s. S. 14) → langsamer, dumpfer Schmerz von polymodalen Nozizeptoren (Leitungsgeschwindigkeit: 0,5 bis 2 m/s).

Die Perikarya der primär afferenten Neurone (1. Neuron) der Schmerzbahn liegen in den Spinalganglien. Ihre Fortsätze ziehen ins Rückenmark zur Umschaltung auf das 2. Neuron; die weitere Verschaltung und Weiterleitung ist für den schnellen und langsamen Schmerz unterschiedlich:

- Die Afferenzen des schnellen Schmerzes werden hauptsächlich in Lamina I auf Strangzellen umgeschaltet, deren Axone im selben oder in unmittelbar benachbarten Segmenten in der Commissura anterior zur Gegenseite kreuzen. Diese Fasern werden als **neospinothalamischer Teil des Tractus spinothalamicus lateralis** bezeichnet. Diese Axone des 2. Neurons enden im Nucleus ventralis posterolateralis des Thalamus. Von dort projiziert das 3. Neuron zum Gyrus postcentralis.
- Die Afferenzen des langsamen Schmerzes enden in der Substantia gelatinosa (Lamina II und III) und werden hier auf Interneurone umgeschaltet. Letztere geben die Signale weiter an Strangzel-

len der Lamina V. Dieser Weg wird auch als (phylogenetisch älterer) **paläospinothalamischer Teil des Tractus spinothalamicus lateralis** beschrieben. Die Axone der Strangzellen kreuzen zu einem großen Teil die Seite und enden im Wesentlichen in intralaminären Thalamuskernen (s. S. 132). Von dort erfolgen Projektionen in unterschiedliche Kortexareale (s. u.).

Eng verknüpft mit dem paläospinothalamischen Weg sind Schmerzbahnen, die nicht direkt via Thalamus im Kortex terminieren, sondern an subkortikalen Strukturen enden. Diese Bahnen sind im Wesentlichen:

- **Tractus spinomesencephalicus**: endet an der Substantia grisea centralis (s. S. 101). Die Substantia grisea centralis enthält die Ursprungneurone des absteigenden schmerzhemmenden Systems.
- **Tractus spinoreticularis**: endet in der Formatio reticularis, die wiederum u. a. zu unspezifischen Thalamuskernen und zum Corpus amygdaloideum projiziert).

Über die paläospinothalamische Projektion und über die Projektionen zu den subkortikalen Strukturen erhalten auch das limbische System (s. S. 227) und das ARAS (s. S. 104) direkte Zuflüsse aus der Schmerzbahn. Das erklärt die starke Weckreaktion und die ausgeprägte emotionale (affektive) Komponente von Schmerzen. Über diese Projektionen werden letztlich sehr unterschiedliche Regionen des zerebralen Kortex erreicht (z. B. präfrontaler, zingulärer, insulärer Kortex), was zur Vielschichtigkeit bei der Wahrnehmung von Schmerzen passt.

11.2.3.3 Das spinozerebelläre System

Das ebenfalls zur Somatosensibilität gehörige spinozerebelläre System unterscheidet sich von den anderen spinoafferenten Systemen dadurch, dass hier nur zwei Neurone hintereinandergeschaltet sind.

Funktionen: I Propriozeption (aus Muskelspindeln, Sehnen- und Gelenkrezeptoren); Exterozeption (aus Hautrezeptoren)

1. Neuron: I Seine Perikarya liegen im Spinalganglion.

2. Neuron: I Bei diesen Strangzellen unterscheidet sich sowohl die Lage der Perikaryen im Rückenmark als auch der weitere Faserverlauf abhängig von der

Zugehörigkeit zum Tractus spinocerebellaris anterior oder posterior:

- **Tractus spinocerebellaris anterior:** Die meisten Axone der in den Laminae V–VIII (lumbosakral) gelegenen Zellkörper kreuzen zur Gegenseite und kreuzen im Mittelhirn zurück. Einige verlaufen auch ipsilateral. Das Kleinhirn erreicht der Tractus spinocerebellaris anterior über den Pedunculus cerebellaris *superior* (s. S. 124).
- **Tractus spinocerebellaris posterior:** Die Axone von Strangzellen im Ncl. thoracicus posterior ziehen ipsilateral und erreichen das Kleinhirn über den Pedunculus cerebellaris *inferior* (s. S. 124).

Einige Afferenzen aus der oberen Körperhälfte ziehen auch zunächst mit dem Fasciculus cuneatus, um den Ncl. cuneatus accessorius zu erreichen. Die Fasern der dort liegenden Perikaryen (2. Neuron) erreichen als **Fibrae cuneocerebellares** über den Pedunculus cerebellaris inferior das Kleinhirn.

11.2.4 Das Trigeminussystem



Die trigeminalen Bahnen, die somatosensible Informationen aus dem Kopfbereich leiten, entsprechen in vielen Punkten den sensiblen Bahnen aus dem übrigen Körper. So ist der Lemniscus trigeminalis mit dem Lemniscus medialis vergleichbar. Beide vermitteln mechanorezeptive Informationen. Wenn Sie sich diese Parallelen klarmachen, können Sie sich die Besonderheiten des trigeminalen Systems besser einprägen. Wiederholen Sie ggf. vor Lektüre dieses Abschnitts die Trigeminuskern (s. S. 111) und den Nervus trigeminus mit seinen Hauptästen (s. S. 62).

Die Signalweiterleitung aus Exterozeptoren (Mechano-, Thermo- und Nozizeptoren) des Kopfes (Haut, Schleimhäute und Zähne) und aus Propriozeptoren des Kopfes (besonders aus Kaumuskeln, Kiefergelenk und Zähnen) erfolgt über die Radix sensoria (Portio major) des N. trigeminus.

11.2.4.1 Mechanorezeption

Die Perikarya der Primärafferenzen liegen im Ganglion trigeminale, das aus pseudounipolaren Nervenzellen besteht und einem Spinalganglion ent-

spricht. Bei der weiteren Verschaltung der mechanosensiblen Signale ist zwischen fein und gering diskriminierender Mechanosensibilität zu unterscheiden:

- Bei der **fein diskriminierenden Mechanosensibilität** ziehen die zentralen Fortsätze der 1. Neurone zum Nucleus principalis nervi trigemini im Pons, wo die Umschaltung auf die 2. Neurone erfolgt. Anschließend kreuzt die Mehrzahl der Axone die Seite und lagert sich als **Lemniscus trigeminalis** medial dem Lemniscus medialis an. Die Axone gelangen zum Nucleus ventralis posteromedialis (VPM) des Thalamus (Umschaltung auf das 3. Neuron). Von dort ziehen Fasern zum somatosensorischen Kortex (im Gyrus postcentralis, in Nachbarschaft zum Sulcus lateralis).
- Bei der **grob diskriminierenden Mechanosensibilität** gelangen die zentralen Fortsätze der 1. Neurone zum Nucleus spinalis nervi trigemini, der die 2. Neurone enthält. Deren Axone (**Tractus trigeminothalamicus lateralis**) kreuzen zur Gegenseite und lagern sich dem Tractus spinothalamicus anterior an. Weitere Verschaltungen entsprechen denen der fein diskriminierenden Mechanosensibilität.

11.2.4.2 Nozizeption

Die Leitung von Schmerzsignalen erfolgt im Prinzip wie die der grob diskriminierenden Mechanosensibilität. Die Perikarya der 2. Neurone liegen im Nucleus spinalis nervi trigemini.

11.2.4.3 Propriozeption

Bei der trigeminalen Propriozeption gibt es eine Besonderheit: Die pseudounipolaren Perikarya der 1. Neurone liegen *nicht* im Ganglion trigeminale, sondern sind *ins Mittelhirn* „verlagert“: in den Nucleus mesencephalicus nervi trigemini.

Die peripheren Fortsätze aus der Kaumuskulatur (und auch aus dem Kiefergelenk) gelangen mit der Radix motoria in den Pons und ziehen dann als Tractus mesencephalicus nervi trigemini zum Nucleus mesencephalicus (keine Umschaltung!). Die zentralen Fortsätze der pseudounipolaren Nervenzellen des Nucleus mesencephalicus gelangen zu den Motoneuronen des Nucleus motorius nervi trigemini.

Klinischer Bezug

Masseterreflex: Der geschilderte „Weg“ stellt auch den Reflexbogen des monosynaptischen Masseterreflexes (Dehnungsreflex) dar. Ausgelöst wird er durch abwärts gerichtetes Beklopfen des Kinns bei leicht geöffnetem Mund. Dies führt zur kurzen Schließbewegung des Mundes.

**Check-up**

- ✓ **Rekapitulieren Sie die Unterschiede zwischen den verschiedenen spinoafferenten Systemen und wiederholen Sie jeweils**
 - welche Funktion sie erfüllen
 - Lokalisation der Umschaltung auf das 2. Neuron
 - Kreuzungsstelle(n) innerhalb des Systems (falls eine Kreuzung der Fasern stattfindet).
- ✓ **Was bedingt eine Durchtrennung des rechten Tractus spinothalamicus lateralis?**
- ✓ **Machen Sie sich nochmals klar, wo die Perikarya der propriozeptiven, pseudounipolaren Neurone des Trigeminnsystems liegen.**

11.3 Das visuelle System**Lerncoach**

Eignen Sie sich in diesem Kapitel zunächst die einzelnen Stationen der Sehbahn an, über die bewusste Seheindrücke vermittelt werden. Vergegenwärtigen Sie sich dabei stets, aus welcher Netzhauthälfte die Fasern des jeweiligen Sehbahnabschnitts kommen und aus welcher Hälfte des Gesichtsfelds die weitergeleiteten Informationen somit stammen. Widmen Sie sich anschließend den unbewusst ablaufenden optischen Reflexen, die von großer klinischer Relevanz sind: Die beteiligten Strukturen können z. B. bei zunehmendem Hirndruck leicht geschädigt werden; pathologische Veränderungen dieser Reflexe, die durch einfache neurologische Untersuchung gut prüfbar sind, geben darauf einen Hinweis.

11.3.1 Der Überblick

Die Axone aus der Retina (Netzhaut, S. 247) gelangen über den N. opticus, das Chiasma opticum und den Tractus opticus zum Corpus geniculatum laterale (s. S. 131). Von hier geht die Sehstrahlung (Radiatio optica) in die primäre Sehrinde (Area striata des Okzipitallappens, S. 155). Dieser **retino-genikulo-kortikale** Weg des visuellen Systems, über den bewusste Seheindrücke vermittelt werden, bildet die eigentliche Sehbahn. Im weiteren Sinne können auch Seitenwege der Sehbahn zu ihr hinzugerechnet werden, die funktionell gesehen auch Einfluss auf den Seheindruck haben (z. B. durch Steuerung der Pupillenweite).

11.3.2 Die Sehbahn zur Vermittlung bewusster Seheindrücke*Die retinalen Neurone*

Den mit unbewegten Augen wahrnehmbaren Teil seiner Umwelt bezeichnet man als Gesichtsfeld. Es ist für das rechte und linke Auge größtenteils deckungsgleich (binokuläres Sehen), jedoch wird der äußere Bereich (etwa 30°) auf beiden Seiten jeweils nur vom ipsilateralen Auge gesehen (monokulares Sehen). Von dem Gesichtsfeld jedes Auges wird jeweils die äußere (= temporale) Seite auf der inneren (= nasalen) Seite der Netzhaut (Retina, S. 247) abgebildet und umgekehrt.

In der Retina liegen die ersten drei Neurone der Sehbahn:

- 1. Neuron: Stäbchen- und Zapfenzellen (als Rezeptoren)
- 2. Neuron: bipolare Zellen (in der inneren Körnerzellschicht)
- 3. Neuron: multipolare Ganglienzellen (im Stratum ganglionare).

Der N. opticus und weitere Stationen der Sehbahn

Die myelinisierten Axone der multipolaren Ganglienzellen lagern sich zum **N. opticus** (II) zusammen. Dieser zieht vom Bulbus oculi in einem leicht S-förmigen Verlauf durch den Fettkörper der Orbita zum Canalis opticus, wo er über der A. ophthalmica durch den Anulus tendineus communis tritt.

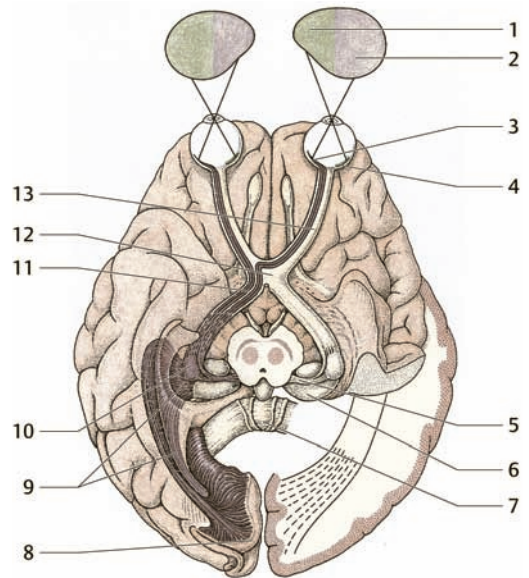
Die Nn. optici beider Seiten vereinigen sich zum Chiasma opticum, von dem nach hinten die Tractus optici um die Hirnschenkel zum Corpus geniculatum laterale ziehen (s. S. 131).

Das **Chiasma opticum** liegt direkt vor dem Hypophysenstiel über dem Corpus ossis sphenoidalis und medial der A. carotis interna. Hier kreuzen etwa die Hälfte der Sehnervenfasern (Abb. 11.5): Die Sehnervenfasern von der nasalen Netzhaut kreuzen im Chiasma opticum, die von der temporalen Netzhaut kreuzen nicht. Somit verlaufen nach dem Chiasma opticum die Fasern, die von der ipsilateralen temporalen Retinahälfte stammen, und jene, die von der kontralateralen nasalen Retinahälfte kommen, zusammen im **Tractus opticus**. Dieser endet im **Corpus geniculatum laterale (CGL)** des Zwischenhirns. Hier erfolgt zum größten Teil die Umschaltung auf das 4. Neuron, dessen Axone als **Radiatio optica** durch den retrolentikulären Teil der Capsula interna (s. S. 162) zur primären Sehrinde ziehen.

Die linke Sehrinde erhält also Signale von Rezeptoren der nasalen Retinahälfte des rechten Auges und aus der temporalen Retinahälfte des linken Auges, d.h. aus dem rechten Teil des Gesichtsfeldes. Dabei gelangen Signale aus der oberen Retinahälfte, d.h. aus dem unteren Gesichtsfeld, zum visuellen Kortex oberhalb des Sulcus calcarinus. Entsprechend gehen die Signale aus dem oberen Gesichtsfeld in den visuellen Kortex unterhalb des Sulcus calcarinus. Eine solche feste Beziehung einzelner Anteile der Retina besteht nicht nur zum visuellen Kortex, sondern auch zu den anderen Stationen der Sehbahn (**Retinotopie**). Die Größe der Areale, die von korrespondierenden Retina-Anteilen eingenommen werden, spiegelt deren Bedeutung für den Seheindruck wider: Die Projektion, die letztlich aus der Fovea centralis (= Gebiet des schärfsten Sehens) stammt, nimmt sowohl im Kortex (nahe am okzipitalen Pol) als auch im Corpus geniculatum laterale ein besonders großes Gebiet ein. Die Axone aus der Fovea centralis verlaufen im Nervus und Tractus opticus jeweils zentral.

MERKE!

In der gesamten Sehbahn zur Vermittlung bewusster Sinneseindrücke (N. opticus → Tractus opticus → CGL → Radiatio optica → Sehrinde) ist eine streng retinotope Anordnung nachweisbar.



Gesichtsfeld des linken Auges:	8 Area striata (Area 17)
1 nasal	9 Radiatio optica (Gratiolet)
2 temporal	10 Corpus geniculatum laterale (CGL)
Retina des linken Auges:	11 Tractus opticus
3 nasal	12 Chiasma opticum
4 temporal	13 N. opticus
5 Brachium colliculi superioris	
6 Pulvinar thalami	
7 Splenium corporis callosi	

Abb. 11.5 Sehbahn

 Aufgrund der Retinotopie kommt es bei Läsionen im Verlauf der Sehbahn zu spezifischen Ausfallsmustern, die jeweils Rückschlüsse auf den Ort der Schädigung erlauben. Versuchen Sie, aus den nachfolgend aufgeführten und häufig geprüften Schädigungsstellen den jeweiligen Gesichtsfeldausfall abzuleiten. Dadurch können Sie überprüfen, ob Ihnen der Weg von der Retina bis zur kortikalen Wahrnehmung des Seheindrucks klar geworden ist.

Klinischer Bezug

Gesichtsfeldausfälle (Skotome): Läsionen an bestimmten Stellen der Sehbahn führen zu typischen Gesichtsfeldausfällen:

- Einseitige Schädigung des N. opticus → Erblindung des betroffenen Auges (Amaurose).
- Mittlere Schädigung des Chiasma opticum (z. B. durch einen raumfordernden Tumor der topographisch eng benachbarten Hypophyse) → Schädigung der im Chiasma opticum kreuzenden Fasern, die aus den nasalen Retinahälften beider Augen stammen. Da auf der nasalen Retinahälfte jedes Auges die jeweils temporale Gesichtsfeldhälfte abgebildet ist, werden Letztere nicht mehr wahrgenommen (d. h. vom rechten Auge die rechte und vom linken Auge die linke Gesichtsfeldhälfte → *unterschiedliche* Gesichtsfeldhälften): *heteronyme* bitemporale Hemianopsie = „Scheuklappenphänomen“.
- Einseitige Schädigung des Tractus opticus → Ausfall der Fasern aus der temporalen Retinahälfte des ipsilateralen Auges und der Fasern aus der nasalen Retinahälfte des kontralateralen Auges. Das bedeutet einen Ausfall *derselben* Gesichtsfeldhälfte (rechte oder linke Hälfte) beider Augen: *homonyme* Hemianopsie.

Eine strikte Punkt-zu-Punkt-Verbindung existiert auch im M- und P-System (s. Retina, S. 247). Diese beiden Systeme sind für unterschiedliche Funktionen im Rahmen des Sehprozesses zuständig: Informationen zur Bewegungserkennung verlaufen über das **M-System**, während Farb- und Formerkennung den Weg über das **P-System** nutzen. Dabei bilden retinale M-Zellen synaptische Kontakte in großzelligen (magnozellulären) Schichten des CGL, während retinale P-Zellen in kleinzellige (parvozelluläre) Schichten projizieren. Nach Umschaltung in verschiedenen Unterschichten der Lamina IVc im primär visuellen Kortex (V1) wird die Information aus dem P-System zu Pyramidenzellen in Lamina II und III weitergeleitet. Diese Pyramidenzellen sind entweder zu rundlichen Flecken angeordnet („Blobs“ → Farberkennung) oder liegen als „Interblobs“ (→ Formerkennung) dazwischen.

Die darauffolgende Informationsverarbeitung findet im sekundären visuellen Kortex (V2) sowie in weiteren nachgeschalteten kortikalen Arealen V3 (tertiärer visueller Kortex), V4 und V5 statt. V4 und V5 liegen außerhalb des Okzipitallappens und sind getrennte Zentren für das P- und M-System.

Das M-System, das für die Erkennung von Bewegungen verantwortlich ist, nimmt einen parietal-frontalen Weg (V5) und endet im frontalen Augenfeld (Area 8), das konjugierte Augenbewegungen für das Verfolgen von bewegten Objekten steuert. Die V5-Projektion ist dabei eine sensorische Rückkopplung für das frontale Augenfeld.

Klinischer Bezug

Läsion in V5: Statt kontinuierlicher Bewegungen wird eine unterbrochene Abfolge von Einzelbewegungen wahrgenommen (Bewegungsagnosie).

Das P-System, das für die Wahrnehmung von Farben und Form (insbesondere komplexer Strukturen) zuständig ist, nimmt einen temporalen Weg (V4) in den unteren temporalen Kortex (Area 20, 21).

Klinischer Bezug

Läsion in V4: Hierbei kommt es zu Fehlfunktionen der Farb- und Formwahrnehmung (z. B. ist das Erkennen von Gesichtern gestört).

11.3.3 Weitere visuelle Untersysteme

Neben dem retino-genikulo-kortikalen System gibt es weitere visuelle Systeme, die ihre Funktionen unbewusst erfüllen:

- **retino-prätektales System:** siehe optische Reflexe
- **retino-tektales System:** Retina → Nervus und Tractus opticus → Colliculus superior (s. S. 101) für die unbewusste (reflexartige) Steuerung von Augen- und Kopfbewegungen zur Fixierung bewegter Objekte
- **retino-hypothalamisches System:** Synchronisierung der zirkadianen Rhythmik (s. Nucleus suprachiasmaticus des Hypothalamus, S. 136, und Epiphyse, S. 140)
- **akzessorisches optisches System:** Retina → Nervus und Tractus opticus → Tegmentum mesencephali (Nuclei terminales tractus optici) → Nuclei vestibulares für die Steuerung des **optokinetischen Nystagmus**: Beispielsweise folgt das Auge beim Blick aus dem Zugfenster während der Fahrt einem Gegenstand mit relativ langsa-

mer Bewegung *entgegen* der Fahrtricht und springt beim Verschwinden dieses Objekt ruckartig auf einen neuen Fixationspunkt im Gesichtsfeld. Der Nystagmus setzt sich also aus einer langsamen Folgebewegung und dem Zurückschnellen (Sakkade) des Auges zusammen.

11.3.4 Die optischen Reflexe

11.3.4.1 Die Hell-Dunkel-Einstellung

Die Hell-Dunkel-Einstellung erfolgt durch eine Verengung (**Miosis**) oder Erweiterung (**Mydriasis**) der Pupille. Fällt Licht ins Auge, verengen sich die Pupillen reflektorisch (**Pupillenreflex**).

Die Ganglienzellen der Retina entsenden auch Axone, die direkt (ohne Umschaltung im Corpus geniculatum laterale) zur **Area pretectalis** (zwischen Commissura posterior und Colliculus superior) ziehen.

Die Axone aus diesem Areal ziehen zum **Nucleus accessorius nervi oculomotorii** (Edinger-Westphal, parasympathischer Teil des N. oculomotorius) **beider Seiten** (zum kontralateralen Kern über die Commissura posterior). Die präganglionären Fasern aus dem Edinger-Westphal-Kern gelangen über den N. oculomotorius zum **Ganglion ciliare**. Die hier gelegenen postganglionären Neurone schicken ihre Axone zum **M. sphincter pupillae**, dessen Kontraktion zur Verengung der Pupille führt. Da die Area pretectalis einer Seite zu beiden Nuclei accessorii nervi oculomotorii projiziert, kommt es bei Belichtung *eines* Auges auch zu einer Pupillenverengung des unbelichteten Auges (**konsensuelle Pupillenreaktion**).

Bei Dunkelheit kommt es zur reflexartigen Erweiterung (Dilatation) der Pupillen. Dabei wird folgender Weg der Signalübertragung benutzt: **Ganglienzellen der Retina** → **Area pretectalis** → **Substantia grisea centralis** → **Centrum ciliospinale** im Seitenhorn des Rückenmarks auf Höhe C8–Th2 (= Zona intermedia der Rückenmarkssegmente C8–Th2) → präganglionäre Fasern über Truncus sympathicus zum **Ganglion cervicale superius** → postganglionäre Fasern mit A. carotis interna, A. ophthalmica und schließlich über die Nn. ciliares longi zum **M. dilatator pupillae**.

Klinischer Bezug

Amaurotische Pupillenstarre: Zu dieser Störung der Pupillomotorik kommt es bei Erblindung eines Auges (durch Schädigung der Retina oder des Sehnervs). Sie ist durch die Kombination folgender Symptome gekennzeichnet:

- Ausfall der direkten Lichtreaktion auf der erkrankten Seite
- konsensuelle Lichtreaktion von der erkrankten Seite aus nicht auslösbar; aber Lichteinfall in das gesunde Auge führt zur konsensuellen Reaktion im kranken Auge
- Naheinstellungsmiosis (s. u.) normal.

11.3.4.2 Die Nah-Fern-Einstellung

Bei der Nah-Fern-Einstellung kommt es zu einer Veränderung der Linsenkrümmung (**Akkommodation** im weiteren Sinne). Bei der Naheinstellung kontrahiert sich der M. ciliaris, die Zonulafasern erschlaffen und die Linse rundet sich ab (s. S. 246). Gegenstände in der Nähe werden auf der Retina scharf abgebildet. Zur Ferneinstellung wird die Linse in einer flachen, wenig gekrümmten Form gehalten. So wird eine scharfe Abbildung weit entfernter Gegenstände auf der Retina ermöglicht.

Für den Akkommodationsreflex gelangen Signale aus dem **primären visuellen Kortex zur Area pretectalis**, von dort dann ungekreuzt und gekreuzt (in der Commissura posterior) zu den **Nuclei accessorii nervi oculomotorii**. Letztere schicken präganglionäre Fasern zum **Ganglion ciliare**. Nach Umschaltung ziehen dann postganglionäre Fasern zum **M. ciliaris**, der den Spannungszustand der Linse reguliert (s. o.).

Beim **Fixieren** eines Objektes, das sich dem Betrachter *nähert*, werden reflektorisch *drei* Vorgänge (Nahreaktionen) ausgelöst:

- **Nahakkommodation**
- **Pupillenverengung:** kleine Blende, um die Schärfe (scharfe Abbildung auf der Retina) zu erhöhen
- **Konvergenz:** zeitgleiche Innervation der Mm. recti mediales beider Seiten → Einstellung der Sehachsen auf das Objekt.

Dabei ist der Weg der Signalübertragung: primäre Sehrinde → ipsilaterale und kontralaterale Area pretectalis → Nucleus Perlia (medialer Unterkern

des Nucleus nervi oculomotorii) → Kern des M. rectus medialis (→ Konvergenz) sowie Nuclei accessorii nervi oculomotorii (nach Umschaltung im Ggl. ciliare → Nahakkommodation und Pupillenverengung/Miosis).

Klinischer Bezug

Absolute Pupillenstarre: Diese Form gestörter Pupillomotorik ist meist durch eine Schädigung des N. oculomotorius bedingt (z. B. im Bereich der Fissura orbitalis superior).

Kennzeichen sind:

- Ausfall der direkten Lichtreaktion auf der Seite der Schädigung
- keine konsensuelle Lichtreaktion auf der Seite der Schädigung bei Lichteinfall in das kontralaterale (gesunde) Auge
- keine Naheinstellungsmiosis auf der Seite der Schädigung
- daneben Motilitätsstörungen des Augapfels (→ Doppelbilder) durch Lähmung des M. rectus medialis.

11



Check-up

- ✓ **Wiederholen Sie die Stationen der Sehbahn.**
- ✓ **Machen Sie sich dabei noch einmal die klinisch relevante Lage des Chiasma opticum klar.**
- ✓ **Überlegen Sie insbesondere, zu welchem Ausfall es bei folgenden Schädigungsformen kommt:**
 - **sagittale Durchtrennung des Chiasma opticum**
 - **vollständige Durchtrennung des linken Tractus opticus.**
- ✓ **Rekapitulieren Sie, wo die Ursprungsperikarya der Radiatio optica liegen.**
- ✓ **Wiederholen Sie den Unterschied der Ausfälle bei verschiedenen Formen von Störungen der Pupillomotorik.**
- ✓ **Verdeutlichen Sie sich anhand dieser Störungen den jeweiligen afferenten und efferenten Schenkel für den Pupillenreflex und für die Nahakkommodation.**

11.4 Das auditorische System



Lerncoach

Die Weiterleitung akustischer Signale bis zum Kortex ist aufgrund der unterschiedlichen Anzahl und Anordnung der beteiligten Neurone samt ihrer Faserkreuzungen recht komplex. Lassen Sie sich dadurch nicht verwirren, sondern achten Sie besonders auf diejenigen Stationen der Hörbahn, in denen immer eine Umschaltung stattfindet.

11.4.1 Der Überblick

Akustische Signale aus dem Corti-Organ werden über eine Kette von Neuronen (Hörbahn) zur Hörrinde in den Gyri temporales transversi (s. S. 154) geleitet. Signale aus den Corti-Organen gelangen dabei in die ipsi- und kontralaterale Hemisphäre. Folgende Strukturen gehören zur Hörbahn: Nuclei cochleares, obere Olive, Lemniscus *lateralis*, Colliculus inferior, Corpus geniculatum *mediale*.

11.4.2 Die Hörbahn

Die Perikarya des 1. Neurons der Hörbahn liegen im **Ganglion spirale cochleae** im Modiolus des Innenohrs (s. S. 240). Ihre zentralen Fortsätze bilden den Nervus cochlearis des VIII. Hirnnervs (N. vestibulocochlearis).

Die Umschaltung auf das 2. Neuron erfolgt entweder im **Nucleus cochlearis anterior** oder im **Nucleus cochlearis posterior**. Die Axone aus den beiden Nuclei verlaufen unterschiedlich und bilden den **direkten** und **indirekten Teil der Hörbahn**. Wie der Name bereits andeutet, ist der direkte Teil der Hörbahn durch einen kürzeren Weg, d. h. weniger Umschaltstellen und Kreuzungen gekennzeichnet, während Umschaltstationen und Faserverlauf innerhalb der indirekten Hörbahn mehrere Möglichkeiten aufweisen (s. **Tab. 11.1**, S. 216).

MERKE

Die Nuclei cochleares, die Colliculi inferiores und das Corpus geniculatum mediale sind obligate Umschaltstellen der Hörbahn.

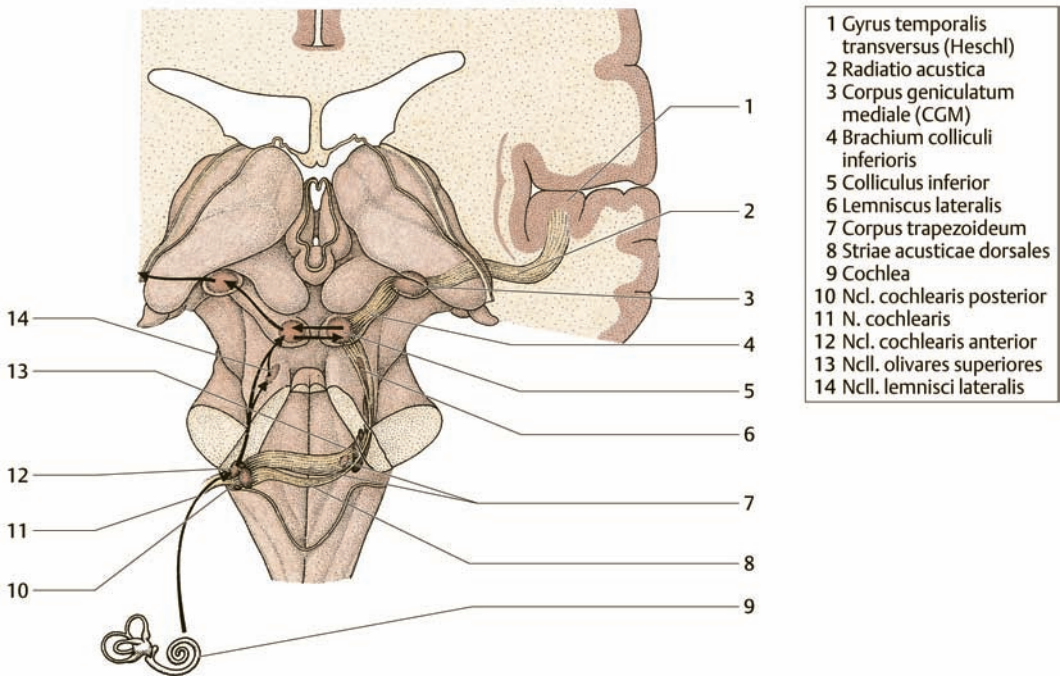


Abb. 11.6 Stationen der Hörbahn (Ansicht auf den Hirnstamm von dorsal nach Entfernung des Kleinhirns)

Im indirekten Teil der Hörbahn erfolgen darüber hinaus weitere Umschaltungen z.T. im oberen Olivenkomplex (ipsi- und kontralateral) und in den Nuclei lemnisci lateralis.

Während im direkten Teil insgesamt nur eine Kreuzung vorhanden ist, kreuzen Fasern des indirekten Teils z.T. im Corpus trapezoideum und wieder zurück in der Decussatio lemniscorum lateralis.

Alle Axone vom Colliculus inferior (der Vierhügelplatte) zum Corpus geniculatum mediale (medialer Kern der Kniehöcker des Metathalamus) bilden das **Brachium colliculi inferioris**. Vom Corpus geniculatum mediale geht die **Radiatio acustica** aus, die durch die Pars sublenticularis der Capsula interna (s. S.162) zur primären Hörrinde zieht.

Klinischer Bezug

Akustisch evozierte (Hirnstamm-)Potenziale (AEP):

Wie beim Elektroenzephalogramm (EEG) werden die auditorisch evozierten Potenziale an der Schädeloberfläche mittels Elektroden registriert.

Mittels Oberflächen Elektroden auf dem Scheitel und

über dem Mastoid lassen sich die Hirnstammpotenziale nachweisen, die mit kurzer Latenz nach einem akustischen Reiz auftreten. Dabei wird eine typische Kurve mit Wellen ableitbar, die in den Stationen der Hörbahn (Nucleus cochlearis, oberer Olivenkomplex, Lemniscus lateralis und Colliculus inferior) entstehen. Die Bestimmung der Hirnstammpotenziale wird z.B. durchgeführt:

- bei Neugeborenen und Kindern zur Bestimmung der Hörschwelle
- bei Hirnstammläsionen
- im Rahmen einer Begutachtung (bei Verdacht auf Simulation).

Durch die Kreuzung des etwas größeren Teils der Fasern innerhalb der Hörbahn und dem ipsilateralen Verlauf der restlichen Fasern ist die Voraussetzung für das **Richtungshören** (räumliche Lokalisation der Schallquelle). Dabei spielt der obere Olivenkomplex, der als erste Station der Hörbahn Signale von beiden Ohren erhält, eine wichtige Rolle. Kommt ein Schall von links, erreicht er das linke

Tabelle 11.1

Direkter und indirekter Teil der Hörbahn

Axone des 2. Neurons mit Umschaltung auf das 3. Neuron	Weiterer Verlauf
Direkter Teil der Hörbahn: Umschaltung auf das 2. Neuron im Ncl. cochlearis posterior	
Kreuzung als posteriore Akustikkreuzung = Striae acusticae dorsales oder Hörstreifen (dicht unter dem Boden der Rautengrube, in der Nähe der Striae medullares ventriculi quarti) → kontralateral im Lemniscus lateralis zum Colliculus inferior (Umschaltung auf 3. Neuron)	• Axone des 3. Neurons → Corpus geniculatum mediale (CGM) • Nach Umschaltung auf das 4. Neuron → Hörrinde
Indirekter Teil der Hörbahn: Umschaltung auf das 2. Neuron im Ncl. cochlearis anterior	
nach Kreuzung (Corpus trapezoideum) → kontralateraler oberer Olivenkomplex* (dort Umschaltung auf das 3. Neuron)	• Axone des 3. Neurons: → im Lemniscus lateralis zum Colliculus inferior (→ Umschaltung auf das 4. Neuron) • Axone des 4. Neurons: → Corpus geniculatum mediale (→ Umschaltung auf das 5. Neuron) • Axone des 5. Neurons → Hörrinde
zunächst ungekreuzt Kreuzung → ipsilateraler oberer Olivenkomplex (dort Umschaltung auf das 3. Neuron)	• Axone des 3. Neurons: → Kreuzung (Corpus trapezoideum) → kontralateraler oberer Olivenkomplex (dort Umschaltung auf das 4. Neuron) • Axone des 4. Neurons: → im Lemniscus lateralis zum Colliculus inferior (→ Umschaltung auf das 5. Neuron) • Axone des 5. Neurons → Corpus geniculatum mediale (→ Umschaltung auf das 6. Neuron) • Axone des 6. Neurons → Hörrinde
nach Kreuzung (Corpus trapezoideum) → Verlauf durch oberen Olivenkomplex (im Lemniscus lateralis) ohne Umschaltung → Ncll. lemnisci lateralis (Schleifenkernkomplex, dort Umschaltung auf das 3. Neuron).	entweder: • Axone des 3. Neurons → Colliculus inferior (→ Umschaltung auf 4. Neuron) • Axone des 4. Neurons → Corpus geniculatum mediale (→ Umschaltung auf 5. Neuron) • Axone des 5. Neurons → Hörrinde oder: • erneute Kreuzung der Axone des 3. Neurons in der Decussatio lemniscorum lateraliū → Nuclei lemnisci lateralis (wieder ipsilateral; → Umschaltung auf 4. Neuron) • Axone des 4. Neurons → im Lemniscus lateralis zum Colliculus inferior (Umschaltung auf 5. Neuron) • Axone des 5. Neurons → Corpus geniculatum mediale (Umschaltung auf 6. Neuron) • Axone des 6. Neurons → Hörrinde
* Oberer Olivenkomplex = Nuclei olivares superiores oder Nuclei corporis trapezoidei	

Ohr früher als das rechte (Laufzeitdifferenz) und der Schalldruck ist im linken Ohr höher als im rechten (Pegeldifferenz).
Die frequenzspezifische Aktivität der Ganglienzellen im Ganglion cochleare wird auf die nachfolgenden Stationen der aufsteigenden Hörbahn übertragen: Von den Kochleariskernen bis zur Hörrinde lässt sich eine **Tonotopie** nachweisen. Beispiele für diese tonotope Ordnung sind:

- Nuclei cochleares: hohe Frequenzen mehr dorsal
- Colliculus inferior: hohe Frequenzen mehr medial
- auditorischer Kortex: hohe Frequenzen mehr hinten-medial.

Viele Neurone in den Stationen der Hörbahn reagieren nicht nur auf charakteristische Frequenzen,

sondern auf bestimmte Merkmale eines Schallmusters, z. B. Amplitudenänderung (Lautstärkenänderung), Frequenzzunahme oder Frequenzabnahme.

11.4.3 Die Kollateralen der Hörbahn

Von der Hörbahn gehen auf unterschiedlichen Höhen Kollateralen ab:

- zur *Formatio reticularis* → Aktivierung des ARAS (s. S. 104) → Weckreaktion/Kortexaktivierung
- zu Augenmuskelnkernen (über den *Fasciculus longitudinalis medialis*) und Colliculus superior (aus Colliculus inferior, s. S. 102) → reflektorische Augen-, Kopf- und Rumpfbewegungen (Zu- oder Abwendung) auf einen akustischen Reiz hin

- zu motorischen Abschnitten der Nuclei nervi trigemini und nervi facialis → Kontraktion des M. tensor tympani und des M. stapedius (Schutzreflex, s. S. 236).



Check-up

- ✓ Wiederholen Sie die obligaten Umschaltstellen der Hörbahn.
- ✓ Machen Sie sich nochmals klar, wie das Richtungshören erfolgt.

11.5 Das vestibuläre System



Lerncoach

Wenn Sie sich an dieser Stelle informieren wollen, wie eine Lageveränderung oder Drehbewegung des Kopfes über das Gleichgewichtsorgan registriert wird, können Sie dies auf S. 241 nachlesen. Konzentrieren Sie sich im folgenden Abschnitt auf die efferenten Verbindungen der Vestibulariskerne, die für Reaktionen auf eine Lageveränderung oder Beschleunigung hin von Bedeutung sind.

11.5.1 Der Überblick

Bei der reflektorischen Aufrechterhaltung des Gleichgewichts spielen die Vestibulariskerne eine zentrale Rolle. Ihre Afferenzen erhalten sie vor allem aus dem Gleichgewichtsorgan im Innenohr (Haarzellen als sekundäre Sinneszellen, s. S. 241) und sind efferent mit verschiedenen Zentren des ZNS verbunden: Sie erreichen das Kleinhirn, die Augenmuskelkerne und die Formatio reticularis im Hirnstamm, das Rückenmark und über den Thalamus den motorischen Kortex.

11.5.2 Die Vestibulariskerne und ihre Verbindungen

11.5.2.1 Die Vestibulariskerne und ihre Afferenzen

Über synaptische Kontakte des peripheren Fortsatzes erhält das 1. Neuron des vestibulären Systems Signale von den Haarzellen aus Sacculus, Utriculus und den Bogengängen (s. S. 241). Die zugehörigen

Perikarya sind im Ganglion vestibulare lokalisiert, das sich am Boden des inneren Gehörganges befindet.

Die zentralen Fortsätze der 1. Neurone bilden den N. vestibularis des VIII. Hirnnervs (N. vestibulocochlearis). In den Nuclei vestibulares erfolgt die Umschaltung der afferenten Fasern auf das 2. Neuron:

- **Ncl. vestibularis superior** (Bechterew): Signale aus den Bogengängen
- **Ncl. vestibularis medialis** (Schwalbe): ebenfalls Signale aus den Bogengängen
- **Ncl. vestibularis inferior** (Roller): Signale aus Sacculus und Utriculus
- **Ncl. vestibularis lateralis** (Deiters): erhält vornehmlich Afferenzen aus dem Kleinhirn.

11.5.2.2 Die Efferenzen der Vestibulariskerne

Die Efferenzen der Nuclei vestibulares erreichen folgende Strukturen:

- Kleinhirn: Bis auf wenige Fasern aus dem Vestibularapparat (besonders aus den Cristae ampullares), die das Vestibulocerebellum direkt erreichen (direkte sensorische Kleinhirnbahn), ziehen die meisten vestibulocerebellären Fasern nach Umschaltung in den Ncll. vestibulares über den unteren Kleinhirnstiel zum Vestibulocerebellum (s. S. 119).
- Augenmuskelkerne: Diese Efferenzen der Ncll. vestibulares erreichen die Augenmuskelkerne über den Fasciculus longitudinalis medialis (s. S. 105).
- Rückenmark: Hier unterscheidet man zwei Bahnen:
 - **Tractus vestibulospinalis lateralis** (aus Nucleus vestibularis lateralis, ipsilateral bis ins Lumbosakralmark → Tonuserhöhung der Extensoren, Entspannung der Flexoren)
 - **Tractus vestibulospinalis medialis** (aus Nucleus vestibularis medialis, ipsi- und kontralateral bis zum mittleren Thorakalmark → Entspannung von Nacken- und oberen Rückenmuskeln).
- Thalamus und Kortex: **Tractus vestibulothalamicus** (zum Nucleus ventralis posteroinferior, weiter zum Gyrus postcentralis nahe der sensiblen Gesichtsrepräsentation → bewusste Raumorientierung).

- **Formatio reticularis:** Brechzentrum (→ Brechreiz bei starken Drehbewegungen), motorisches Zentrum (→ Tractus reticulospinalis).

11.5.2.3 Die funktionelle Bedeutung der vestibulären Verschaltungen

Die Verschaltungen der Vestibulariskerne dienen

- der Kontrolle der Augenmuskeln: Die Augäpfel werden bei verschiedenen Kopfhaltungen immer so ausgerichtet, dass ein aufrechtes Bild auf der Retina entsteht
- der Koordination der Haltung von Kopf, Körper und Extremitäten → Gleichgewichtserhaltung, aufrechter Gang
- der Bewegungskoordination: Das Kleinhirn benötigt die vestibulären Informationen für die motorische Koordination (s. auch S. 119 und S. 204).

Klinischer Bezug

Zentral bedingte vestibuläre Störungen: Schwindel und Gleichgewichtsstörungen können auch Ursachen im ZNS haben. Die häufigste Ursache ist eine Durchblutungsstörung im Hirnstammbereich, jedoch können diese Symptome auch z.B. bei Multipler Sklerose auftreten (meist mit retrochleärer Hörstörung). Es treten dann Veränderungen des optokinetischen Nystagmus auf. In der Kernspintomographie sind demyelinisierte Bereiche im Hirnstamm nachweisbar und die Ableitung akustisch evozierter Potenziale kann die Diagnose weiter bestätigen.



Check-up

- ✓ **Rekapitulieren Sie, wodurch sich der Ncl. vestibularis lateralis von den anderen Vestibulariskernen unterscheidet.**

11.6 Das olfaktorische und das gustatorische System



Lerncoach

Durch den Vergleich von olfaktorischem und gustatorischem System können Sie sich nochmals den Unterschied zwischen primären und sekundären Sinneszellen klarmachen (s. auch Kapitel 1, S. 6).

11.6.1 Der Überblick

Das olfaktorische und das gustatorische System vermitteln über chemische Sinnesorgane (Rieschschleimhaut und Geschmacksknospen s. S. 253 und 254) aufgenommene Signale, die bei der Nahrungsaufnahme nicht nur über den Genuss entscheiden, sondern auch eine Warnfunktion übernehmen können. So werden verdorbene Speisen oft bereits am Geruch erkannt und die Genießbarkeit kann zusätzlich schnell und zuverlässig durch das Geschmacksorgan überprüft werden. Zudem können beide Sinnessysteme emotionale Verhaltensweisen hervorrufen.

Die **Riechbahn** beginnt mit primären Sinneszellen in einer umschriebenen Region der Nasenschleimhaut (Regio olfactoria) und führt über den I. Hirnnerv (N. olfactorius), Tractus und Bulbus olfactorius zu verschiedenen telencephalen Kortex- und Kerngebieten und wird als einziges sensorisches System *nicht* im Thalamus umgeschaltet.

Die **Geschmacksfasern** ziehen über verschiedene Hirnnerven (VII, IX und X) zum Nucleus tractus solitarius im Hirnstamm.

11.6.2 Das olfaktorische System

11.6.2.1 Die Funktionen des olfaktorischen Systems

Bei vielen Tieren spielt das Geruchssystem eine wesentliche Rolle bei der Nahrungsaufnahme, beim Verhalten und bei der Reproduktion. Sie besitzen folglich große Areale des Endhirns, die für die Geruchswahrnehmung verantwortlich sind (sog. Makrosmatiker). Beim Mikrosmatiker (Mensch) werden die o.a. Funktionen z.T. von anderen Sinnesorganen übernommen (Sehen, Hören). Trotzdem ist der Geruchssinn auch beim Menschen von

großer Bedeutung. Er ist für den Respirationstrakt eine Art Kontrollstation (z.B. für gefährliche Gase); gut Schmeckendes wird auch über den Geruch so eingeordnet; Ekel oder Genuss können durch Geruch hervorgehoben werden.

Riechen ist ein Vorgang der Chemorezeption.

11.6.2.2 Die Riechbahn

Die olfaktorischen Rezeptorzellen und der N. olfactorius (I)

Die olfaktorischen Rezeptorzellen (**Riechzellen**, s. S. 253) liegen in der Regio olfactoria (olfaktorisches Epithel), die beim Menschen nur einen kleinen Teil der Nasenschleimhaut auf der oberen Nasenmuschel und angrenzenden Bereichen von Nasendach und Nasenseptum einnimmt.

Die Axone der Rezeptorzellen bilden die **Fila olfactoria**, die in ihrer Gesamtheit als **N. olfactorius** (I. Hirnnerv) zusammengefasst werden (**Abb. 11.7**). Somit sind die Rezeptorzellen das 1. Neuron im olfaktorischen System (primäre Sinneszelle, s. S. 6). Die einzelnen Fila olfactoria ziehen durch die Lamina cribrosa des Os ethmoidale und erreichen so den Bulbus olfactorius.

Der Bulbus olfactorius

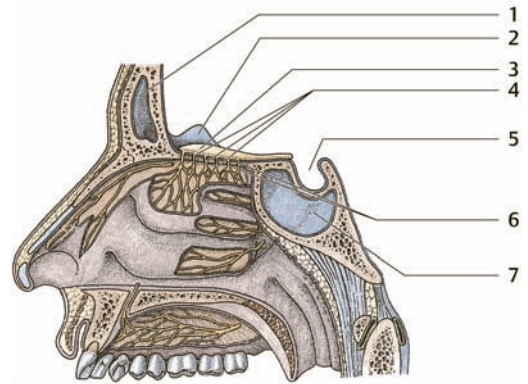
Der flach-ovale **Bulbus olfactorius** liegt auf der Lamina cribrosa des Siebbeins in der vorderen Schädelgrube (Fossa cranii anterior). Er ist eine Station der Informationsverarbeitung und weist histologisch einen 6-schichtigen Bau auf:

Die Axone der Fila olfactoria ziehen durch das Stratum fibrosum und bilden in sog. Glomeruli Synapsen mit Dendriten von Mitral- und Büschelzellen (Projektionsneurone des Bulbus olfactorius). Ihre langen Axone bilden den Tractus olfactorius (s. u.).

MERKE!

Im Bereich der Glomeruli erfolgt die Umschaltung zwischen Rezeptorzellen und Büschel-/Mitralzellen. Die Büschel- und Mitralzellen sind die Projektionsneurone des Bulbus olfactorius.

Durch verschiedene Typen von Interneuronen wird die Erregungsweiterleitung im Bulbus olfactorius moduliert.



1 Sinus frontalis	5 Fossa hypophysialis
2 Crista galli	6 Lamina cribrosa
3 Bulbus olfactorius	7 Sinus sphenoidalis
4 N. olfactorius	

Abb. 11.7 N. olfactorius (Gesamtheit der Fila olfactorii) mit Durchtritt durch die Lamina cribrosa zum Bulbus olfactorius am Paramedian schnitt durch die Nasenhöhle. Zu beachten ist, dass die olfaktorisch innervierten Riechzellen lediglich in einem umschriebenen Teil der Nasenhöhle liegen (Regio olfactoria). Die übrigen dargestellten Nerven sind Äste des N. trigeminus (s. S. 62), zur Innervation der Nasen- und Gaumenschleimhaut.

Die **Hemmung der Projektionsneurone** (Mitral- und Büschelzellen) **durch die Interneurone** bewirkt eine Kontrastbildung, wodurch eine genauere Geruchswahrnehmung möglich wird.

Der Tractus olfactorius und die weiteren Stationen der Riechbahn

Der **Tractus olfactorius** liegt an der Basalfläche des Frontallappens (Länge: 3–4 cm): er teilt sich in die

- **Stria olfactoria lateralis**, die am Vorderrand der Substantia perforata anterior zum Uncus verläuft, und die
- **Stria olfactoria medialis**, die an der Substantia perforata anterior entlang zum Gyrus paraterminalis zieht.

In der Aufteilungsstelle des Tractus olfactorius liegt das **Trigonum olfactorium** mit dem **Nucleus olfactorius anterior**. Hier werden Axone/Axonkollaterale des Tractus olfactorius umgeschaltet. Der Nucleus olfactorius anterior schickt seine Axone über die Commissura anterior zum kontralateralen Bulbus olfactorius.

In der **Stria olfactoria lateralis** verlaufen die Axone zur **Area prepiriformis** (Teil des Gyrus olfactorius lateralis) und zum **Cortex periamygdaloideus** (s. Abb. 11.8).

Die Area prepiriformis (3-schichtiger Rindenaufbau) wird manchmal auch als primäre Riechrinde aufgefasst. D.h. das Riechsystem ist das einzige sensorische System, das primär nicht über eine Umschaltung im Thalamus zum Kortex gelangt.

Der Cortex periamygdaloideus gehört zum Mandelkernkomplex (s. S. 159). Hier bekommt das olfaktorische System direkten Anschluss an das limbische System und – über Verbindungen des Corpus amygdaloideum mit dem Hypothalamus – auch an das vegetative System.

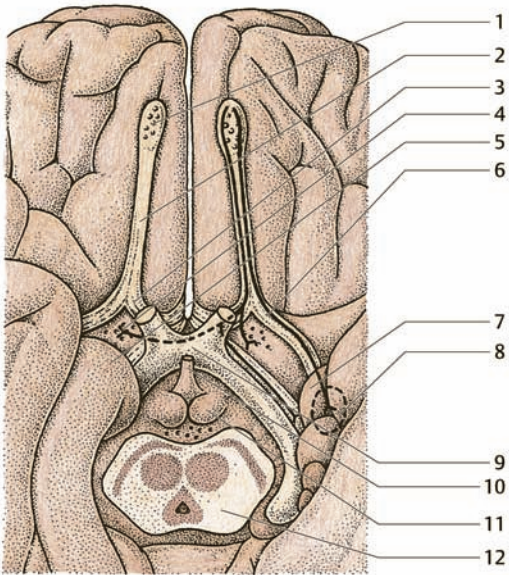
Sowohl aus der Regio prepiriformis als auch aus dem Cortex periamygdaloideus ziehen Fasern zu den Nuclei mediales thalami; von dort verlaufen dann Projektionen zum orbitofrontalen Kortex.

In der **Stria olfactoria medialis** verlaufen die Axone zu den Nuclei septales (und zu einem beim Menschen allerdings kaum ausgebildeten Tuberculum olfactorium).

Von den Nuclei septales bestehen Verbindungen zu den Habenulae und zur Hippokampusformation.

Klinischer Bezug

Kakosmien: Hierunter versteht man spontane, oft anfallsartige Wahrnehmung unangenehmer Gerüche. Sie können als sensorische Störung auftreten und gehen auf Läsionen des limbischen Systems im Schläfenlappen zurück, was auf enge Verbindung zwischen olfaktorischem und limbischem System hinweist.



- 1 Bulbus olfactorius

2 Tractus olfactorius

3 Stria olfactoria medialis

4 Substantia perforata anterior

5 Trigonum olfactorium

6 Stria olfactoria lateralis

7 Cortex periamygdaloideus

8 Area prepiriformis
- 9 Chiasma opticum

10 Infundibulum

11 Corpus mammillare

12 Mesencephalon

Abb. 11.8 Olfaktorische kortikale Areale in der Ansicht von basal

11.6.3 Das gustatorische System

Die Geschmackssinneszellen sind sekundäre Sinneszellen (ohne eigenes Axon). Ihre Rezeptorpotentiale erregen über Synapsen (Transmitter: Glutamat) Geschmacksfasern (speziell viszerosensorisch), die drei Hirnnerven zugeordnet werden können (Tab. 11.2).

Die zentralen Fortsätze des ersten Neurons erreichen die unteren Teile der lang gestreckten Nuclei tractus solitarii im Hirnstamm.

Hier werden die Fasern auf das zweite Neuron der Geschmacksbahn umgeschaltet. Die Axone des zweiten Neurons steigen hauptsächlich ipsilateral

Tabelle 11.2

Sensorische Innervation der Zunge (1. Neuron des gustatorischen Systems)		
Hirnnerv	Perikaryon (Lage)	gustatorisches Innervationsgebiet
VII N. facialis (N. intermedius)	Ggl. geniculi	vordere 2/3 der Zunge
IX N. glossopharyngeus	Ggll. superius und inferius	hinteres 1/3 der Zunge
X N. vagus	Ggll. superius und inferius	Bereich der Epiglottis und Übergang zum Zungengrund (um Kehlkopfeingang)

im Tractus tementalis centralis bzw. im Lemniscus medialis zum Nucleus ventralis posteromedialis des Thalamus auf, wo die Umschaltung auf das 3. Neuron erfolgt. Letzteres projiziert zum unteren Bereich des Gyrus postcentralis (im Bereich des Operculum parietale) in enger Nachbarschaft zum somatosensiblen Gebiet der Zunge und zum angrenzenden Bereich der Inselrinde.

Kollateralen aus dem Nucleus tractus solitarii ziehen zudem zu folgenden Kerngebieten:

- Nuclei salivatorii → reflektorische Speichelsekretion
- Nucleus dorsalis nervi vagi → reflektorische Magensaftsekretion
- Hypothalamus (über den Fasciculus longitudinalis dorsalis) → vegetative und emotionale Reaktionen (Übelkeit, mimische Reaktionen).

Klinischer Bezug

Geschmacksstörungen können selten auch zentrale Ursachen haben (z. B. schwere Schädel-Hirn-Traumata, CO-Vergiftung).

Bei Schizophrenie können **Geschmackshalluzinationen** auftreten (zumeist Vergiftungsängste im Zusammenhang mit einem Verfolgungswahn).



Check-up

- ✓ **Rekapitulieren Sie die sensorische Innervation der Zunge.**
- ✓ **Überlegen Sie dabei, welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede es zur sensiblen Innervation in den gleichen Bereichen gibt und wiederholen Sie dies ggf. mit Hilfe von Kapitel 3 (S. 58, 65 und 70).**

11.7 Das vegetative Nervensystem



Lerncoach

Die großen funktionellen „Gegenspieler“ des vegetativen Nervensystems sind der Sympathikus und der Parasympathikus, deren effektive Strecke jeweils aus zwei aufeinander folgenden Neuronen besteht. Nicht nur funktionell unterscheiden sich diese beiden Untersysteme des vegetativen Nervensystems, sondern auch durch die Lage der Umschaltstellen (→ Ganglien) und z. T. durch die Transmitter. Achten Sie beim Lesen des folgenden Abschnitts besonders auf diese Unterschiede – wenn Sie sich das allgemeine Prinzip gut einprägen, lassen sich damit viele Prüfungsfragen leicht beantworten.

11.7.1 Der Überblick und die Funktion

Das vegetative (= autonome oder viszerale) Nervensystem reguliert (zusammen mit dem endokrinen System) lebenswichtige Funktionen. Die Leistungen der inneren Organe werden aufeinander und an wechselnde Anforderungen angepasst (**Hömoöostase**). Atmung, Kreislauf, Stoffwechsel, Körpertemperatur, Verdauung, Sekretion, Fortpflanzung u. a. werden durch das vegetative Nervensystem gesteuert.

Das vegetative Nervensystem funktioniert unbewusst/unwillkürlich (daher stammt auch die Bezeichnung „autonomes Nervensystem“). Es ist jedoch zu bedenken, dass auch viele Funktionen des somatischen (animalischen) Nervensystems unbewusst ablaufen und sich somit aus der Autonomie allein keine Definition ableiten lässt. Auch die Beschreibung des vegetativen Nervensystems als ein System, das alle Strukturen außer den Skelettmuskeln innerviert, ist umstritten, da diese Definition die Viszeroafferenzen nicht berücksichtigt, die für das Funktionieren des vegetativen Nervensystems unabdingbar sind (s. S. 88).

Beim vegetativen Nervensystem lassen sich zentrale und periphere Anteile beschreiben. Zu den *zentralen* Anteilen im Gehirn gehören Teile der Formatio reticularis und des Hypothalamus (als übergeordnetes Steuerungszentrum. Insbesondere in diesen beiden Hirngebieten ist das vegetative

Tabelle 11.3

Funktionen des Sympathikus und Parasympathikus		
Organ	Sympathikus	Parasympathikus
Bronchialbaum – Muskulatur – Drüsen	→ Bronchodilatation → Sekretion ↓	→ Bronchokonstriktion → Sekretion ↑
Herz – Erregungsleitungssystem – Muskulatur	→ Frequenz ↑ (Tachykardie) → Steigerung der Kontraktionskraft (positive Inotropie)	→ Frequenz ↓ (Bradykardie)
Magen-Darm-Trakt – Wandmuskulatur – Sphinktermuskulatur – Drüsen (in den Wandschichten)	→ Peristaltik ↓ → Kontraktion → Sekretion ↓	→ Peristaltik ↑ → Dilatation → Sekretion ↑
Urogenitaltrakt – M. sphincter urethrae internus – M. detrusor vesicae – Muskulatur der Samenwege	→ Kontraktion → beteiligt an Verschlussmechanismus → Urinkontinenz → Kontraktion → Ejakulation	→ Harnblasenentleerung (Miktion)
Blutgefäße – Haut, Skelettmuskulatur (weniger in Niere und Darm) – Sexualorgane	→ Konstriktion	→ Dilatation → Erektion
Innere Augenmuskeln – M. dilatator pupillae – M. sphincter pupillae – M. ciliaris – M. tarsalis	→ Kontraktion → Pupillenerweiterung → Erweiterung der Lidspalte	→ Kontraktion → Pupillenverengung → Kontraktion → Nahakkommodation
Drüsen – Tränendrüse – Kopfspeicheldrüsen – Bauchspeicheldrüse (Pankreas) – Schweißdrüsen	→ Sekretion ↓ (?) → Sekretion: mehr mukös → Sekretion ↓ → Sekretion ↑ *(!)	→ Sekretion ↑ → Sekretion: mehr serös → Sekretion ↑
Haut – Mm. arrectores pilorum	→ Aufrichten der Haare	
Nebennierenmark	→ Katecholaminausschüttung	
*Besonderheit: Der Transmitter postganglionärer sympathischer Fasern zu Schweißdrüsen ist Acetylcholin!		

Nervensystem funktionell eng mit dem somatischen Nervensystem verknüpft. Die zentralen Anteile im Rückenmark sind Reflexzentren, wie z.B. das Centrum vesicospinale für die Regulation der Harnblasenentleerung.

Eine Besonderheit des *peripheren* vegetativen Nervensystems ist, dass außerhalb des ZNS Schaltstellen (in Form von Ganglien) vorkommen. Das bedeutet, dass der efferente Schenkel aus zwei aufeinander folgenden Neuronen besteht. Die Perikarya der **präganglionären** Neurone liegen im ZNS; ihre Axone ziehen zu den peripheren vegetativen Ganglien. Dort liegen die Perikarya der **postgan-**

glionären Neurone, die ihre Axone zu den Erfolgsorganen schicken.

Bei den Viszeroefferenzen lassen sich im klassischen Sinn *zwei unterschiedliche funktionelle Systeme* unterscheiden:

Das sympathische und das parasympathische System wirken überwiegend antagonistisch (s. Tab. 11.3) und unterscheiden sich in

- der Lage der Ganglien, d.h. Länge der prä- und postsynaptischen Axone
- dem Transmitter der postganglionären Neurone
- der Funktion.

Klinischer Bezug

Übertrainingssyndrom: In der Sportmedizin versteht man unter dem Übertrainingssyndrom einen anhaltenden Abfall der sportlichen Leistung mit körperlichen Symptomen (Befindlichkeitsstörungen mit schneller Ermüdbarkeit) bei gleichbleibendem oder intensiviertem Training. Man unterscheidet meist zwei unterschiedliche Phasen:

- Die sympathische Frühphase ist gekennzeichnet durch Ruhelosigkeit, Übererregbarkeit, Schlafstörungen, Gewichtsverlust, erhöhte Ruheherzfrequenz, erhöhten Blutdruck in Ruhe und langsame Erholung von Herzfrequenz und Blutdruck nach Belastung.
- Die parasympathische Spätform geht einher mit phlegmatischem und depressivem Verhalten, fehlenden Schlafstörungen, normalem Appetit, konstantem Gewicht, niedriger Ruhfrequenz, rascher Erholung der Herzfrequenz nach Belastung und Hypoglykämie während der Belastung. Verantwortlich für das Ausbleiben der für die Frühphase typischen Überlastungssymptome ist ein mit dauerhaftem Training erhöhter Vagotonus.

Neben Sympathikus und Parasympathikus kann das intramurale Nervensystem des Magen-Darm-Kanals (enterisches Nervensystem) als dritte Komponente des vegetativen Nervensystems betrachtet werden. Seine Hauptaufgaben sind die autonome Steuerung der Darmbewegungen sowie die Sekretion der Darmwanddrüsen. Durch sympathische und parasympathische Fasern kann diese autonome Tätigkeit „moduliert“ werden.

Eine Vielzahl vegetativer Funktionen wird über viszerale Reflexe erfüllt (s. S. 88).

11.7.2 Der Sympathikus

Die Perikarya der präganglionären Neurone (Transmitter: **Acetylcholin**) befinden sich in **thorakalen** und **lumbalen Segmenten** des Rückenmarks (Seitenhörer). Ihre Axone ziehen gemeinsam mit den somatomotorischen Fasern in der Vorderwurzel und dann im Spinalnerv. Sie verlassen den Spinalnerv als Ramus communicans albus, der zu den sympathischen Grenzstrangganglien zieht. Hier kann eine Umschaltung auf das postganglionäre Neuron erfolgen. Axone können aber auch *ohne*

Umschaltung durch die Ganglien ziehen, um dann in einem prävertebralen Ganglion (s.u.) synaptische Kontakte mit postganglionären Neuronen zu bilden. Die postganglionären Neurone des Sympathikus enthalten **Noradrenalin** (mit Ausnahme der cholinergen Fasern zu Schweißdrüsen!).

Die Wirkungen des Sympathikus in den Zielorganen sind in **Tab. 11.3** zusammengefasst.

11.7.2.1 Der Grenzstrang (Truncus sympathicus) mit paravertebralen Ganglien

Der sympathische Grenzstrang (Truncus sympathicus) erstreckt sich beidseits der Wirbelsäule (paravertebral) von der Schädelbasis bis zum Steißbein. Seine Ausdehnung ist also wesentlich größer als der Bereich, aus dem er über die Rr. communicantes albi (s. S. 34) präganglionäre sympathische Zuflüsse erhält (C8–L2). Der Grenzstrang besteht aus einer Kette von 21–25 Ganglien, die durch **Rami interganglionares** verbunden sind.

Die paravertebralen sympathischen Grenzstrangganglien (aus multipolaren Nervenzellen) sind:

- **Ganglion cervicale superius:** groß, spindelförmig, vor den Querfortsätzen des 2. und 3. Halswirbels gelegen
- **Ganglion cervicale medium:** inkonstant, variable Lage
- **Ganglion cervicothoracicum** oder **stellatum:** Verschmelzung des Ganglion cervicale inferius mit dem 1. Brustganglion mit Fasern aus den Rückenmarkssegmenten Th3–Th7; vor dem Querfortsatz des 7. Halswirbels und nahe des Abgangs der A. vertebralis aus der A. subclavia liegt es der Pleurakuppel an
- **Ganglia thoracica:** 10–13 Ganglien, auf den Rippenköpfchen gelegen
- **Ganglia lumbalia:** 4 retroperitoneale Ganglien, am medialen Ende des M. psoas major gelegen
- **Ganglia sacralia:** 4–5 Ganglien medial der Foramina sacralia pelvina
- **Ganglion impar** (durch Zusammenfluss des rechten und linken Grenzstrangganglions als einziges unpaar, median vor dem Os coccygis gelegen).

Ein Teil der postganglionären Axone des Grenzstrangs zieht über Rr. communicantes grisei zurück zu den Spinalnerven, mit denen sie zur Haut gelangen, um dort Gefäße, Drüsen und Mm. arrectores pilorum zu innervieren.

Der Halsteil des Truncus sympathicus

Die Zervikalganglien stehen in topographisch enger Beziehung zur tiefen Schicht der Halsfaszie (Lamina prevertebralis fasciae cervicalis). Sie entsenden postganglionäre Fasern, die häufig (ohne Umschaltung!) durch die Kopfganglien (s. S. 57) hindurch ziehen und mit den Blutgefäßen zu ihren Erfolgsorganen ziehen.

Vom **Ganglion cervicale superius** ziehen Fasern zum Auge, zu Tränen- und Speicheldrüsen, zu Kopfgefäßen und z.B. auch zur Epiphyse (s. S. 140). Die Fasern begleiten als dünnes Geflecht (Plexus caroticus internus aus dem N. caroticus internus) die A. carotis interna und ein Teil ihrer Äste (z.B. A. ophthalmica). Weitere Efferenzen gelangen ebenfalls periarteriell zu den Halsorganen und als N. cardiacus cervicalis superior zum Plexus cardiacus des Herzens.

MERKE!

Der Halsteil des Truncus sympathicus liegt auf oder im Bindegewebe der Lamina prevertebralis fasciae cervicalis.

Fasern aus dem **Ganglion cervicothoracicum** ziehen zu Ästen des Plexus brachialis, zum Plexus pulmonalis und als N. cardiacus cervicalis inferior zum Herz. Sie bilden feine Geflechte um die A. subclavia (Ansa subclavia) und einen Teil ihrer Äste.

Klinischer Bezug

Stellatumblockade: Durch Blockade oder auch anderweitige Schädigung des Ganglion stellatum (z.B. durch einen sog. Pancoast-Tumor an der Lungenspitze) kommt es zu einem Ausfall der sympathischen Versorgung in den genannten Innervationsgebieten (Hautgefäße, Schweißdrüsen und Mm. arrectores pilorum am Arm; Herz; Auge). Da auch Viszeroafferenzen auf dem Weg zum Spinalnerv (ohne Umschaltung!) durch die Grenzstrangganglien ziehen, kann auch die sensible Organversorgung mit beeinträchtigt sein. Die Augensymptome erklären sich dadurch, dass die im Ganglion cervicale superius umgeschalteten Fasern zunächst durch die beiden unteren Zervikalganglien hindurchziehen. So kann es bei Schädigung des Ganglion stellatum zum **Horner-Syndrom** kommen, das durch folgende Symptomentrias gekennzeichnet ist:

- Miosis (= Pupillenverengung durch Lähmung des M. dilatator pupillae)
- Ptosis (= herabhängendes Augenlid durch Ausfall des M. tarsalis)
- Enophthalmus (= Aspekt des eingesunkenen Augapfels).

Der Brustteil des Truncus sympathicus

Aus den oberen Thorakalganglien (2.–5.) schließen sich postganglionäre Fasern Gefäßen an, um die sie Geflechte bilden und somit periarteriell zu ihren Zielorganen gelangen. Dort bilden sie zusammen mit Viszeroefferenzen und -afferenzen des N. vagus (s. S. 69 ff) organnahe gemischte Plexus:

- Rr. cardiaci thoracici → zum Plexus cardiacus
- Rr. pulmonales thoracici → zum Plexus pulmonalis am Lungenhilum
- Rr. oesophageales thoracici → zum Plexus oesophagealis.

Aus Ästen der Grenzstrangganglien 5–9 entsteht der **N. splanchnicus major**, der überwiegend präganglionäre Fasern enthält (daneben auch einige postganglionäre und afferente Fasern). Er zieht seitlich an der Wirbelsäule nach kaudal und tritt rechts mit der V. azygos und links mit der V. hemiazygos im medialen Teil durch das Zwerchfell. Dann verläuft er zu prävertebralen Ganglien (z.B. Ganglia coeliacae, s. u.), wo die Umschaltung von präganglionären auf postganglionäre Neurone erfolgt.

Der **N. splanchnicus minor** entsteht aus Ästen des 10. und 11. Brustganglions. Seine Faserzusammensetzung entspricht der des N. splanchnicus major, und er zieht ebenfalls seitlich an der Wirbelsäule nach unten. Zusammen mit dem Truncus sympathicus gelangt er durch das Zwerchfell, um weiter zu den prävertebralen Ganglien zu ziehen.

MERKE

Die organnahen Plexus in der Brusthöhle sind gemischte Plexus. So enthält z.B. der Plexus pulmonalis neben efferenten Sympathikusfasern (→ Bronchodilatation und Vasokonstriktion) auch in Ästen des N. vagus verlaufende Viszeroefferenzen (→ Engstellung der Bronchien) und Viszeroafferenzen aus Dehnungsrezeptoren (s. Hering-Breuer-Reflex, S. 103).

Der Bauch- und Beckenteil des Truncus sympathicus
Aus den Ganglia lumbalia und sacralia gehen die Nn. splanchnici lumbales und sacrales ab. Letztere bilden im Becken zusammen mit parasympathischen Fasern vegetative Nervenplexus (Plexus hypogastricus superior und inferior). Aus denen erfolgt die vegetative Innervation von Harn- und Geschlechtsorganen. Ferner gehen aus den Bauch- und Beckenganglien Fasern sympathisch versorgter Strukturen der unteren Extremität ab.

11.7.2.2 Nervenplexus und prävertebrale Ganglien im Bauch- und Beckenraum

Auf der ventralen Seite der Aorta liegt ein mächtiges Nervenfasergeflecht, **Plexus aorticus abdominalis**, das im Wesentlichen aus Fasern der Nn. splanchnici majores und minores besteht. Eingelagert in diesen Plexus liegen prävertebrale sympathische Ganglien mit gleichnamigen Plexus (s. u.):

- **Ganglia coeliaca** (auf beiden Seiten des Truncus coeliacus)
- **Ganglion mesentericum superius** (an gleichnamiger Arterie)
- **Ganglia aortorenalia** (an den Abgängen der beiden Aa. renales)
- **Ganglion mesentericum inferius** (an gleichnamiger Arterie).

In den ersten drei der genannten Ganglien werden die präganglionären Fasern der Nn. splanchnici major und minor auf postganglionäre Neurone umgeschaltet. Das Ganglion mesentericum inferius erhält vornehmlich Zuflüsse aus dem lumbalen Teil des Grenzstrangs.

Der ausgedehnteste Teil des Plexus aorticus abdominalis ist der **Plexus coeliacus** (Plexus solaris, Sonnengeflecht), der sich zwischen den Abgangsstellen des Truncus coeliacus, der A. mesenterica superior und der Aa. renales ausbreitet. Wie der Plexus coeliacus liegen auch um die anderen o.g. gleichnamigen Ganglien Nervenplexus. Meist bilden sie noch weitere Unterplexus, die sich auf Ästen der Aorta und ihren Verzweigungen ausbreiten, um zu den Erfolgsorganen zu gelangen (z.B. Plexus suprarenalis, Plexus renalis, Plexus hepaticus, Plexus lienalis, Plexus gastricus, Plexus rectalis superior). Neben den überwiegend postganglionären sympathischen Fasern ziehen in diesen Plexus

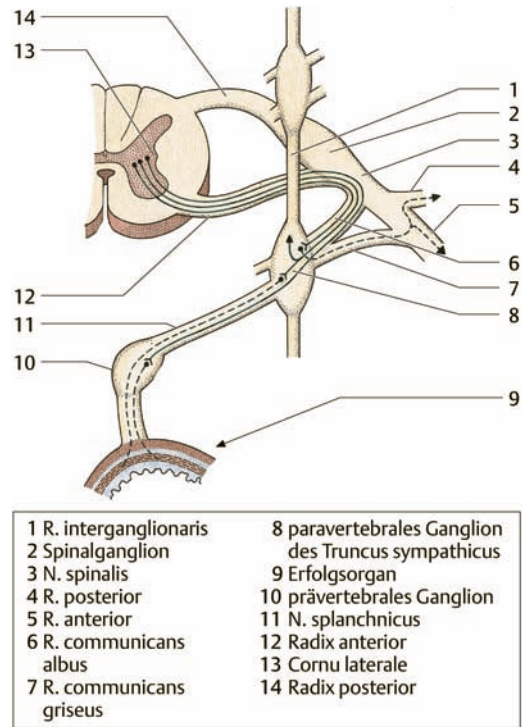


Abb. 11.9 Verschaltung sympathischer Viszeroafferenzen zur Innervation von Bauch- und Beckenorganen

auch präganglionäre parasympathische sowie viszeroafferente Fasern.

Kaudale Fortsetzungen des Plexus aorticus abdominalis sind die **Plexus hypogastricus superior** und **hypogastricus inferior** (mit Ganglia pelvica).

Der Plexus hypogastricus inferior setzt sich in Richtung Baucheingeweide in weitere Plexus fort, u. a.: Plexus vesicalis, Plexus prostaticus, Plexus uterovaginalis, Plexus rectalis medius.

MERKE

Die sympathischen Fasern zu Bauch- und Beckenorganen werden entweder bereits in den paravertebralen Grenzstrangganglien oder in den prävertebralen Ganglien, die es nur im Bauch- und Beckenraum gibt, umgeschaltet (**Abb. 11.9**).

11.7.3 Der Parasympathikus

Die Umschaltung vom präganglionären auf das postganglionäre Neuron erfolgt beim Parasympathikus erst im Erfolgsorgan bzw. in seiner Nähe. Demzufolge sind die Axone der präganglionären Neurone länger als die der postganglionären. Als Transmitter findet sich sowohl im prä- als auch im postganglionären Neuron **Acetylcholin**. Der Parasympathikus gliedert sich in einen Kopfteil und einen Sakralteil.

Klinischer Bezug

Parasympathomimetika und Parasympatholytika: Hierbei handelt es sich um Stoffe, die das parasympathische System beeinflussen.

Direkte Parasympathomimetika (z. B. Carbachol) erregen spezifische Acetylcholin-Rezeptoren am Erfolgsorgan. Sie werden nicht von der Acetylcholinesterase (Enzym, das Acetylcholin spaltet und somit seine Verfügbarkeit am postsynaptischen Neuron senkt) gespalten. Carbachol wird z. B. bei Darm- und Blasenatonie eingesetzt. **Indirekte Parasympathomimetika** sind Hemmer der Acetylcholinesterase.

Parasympatholytika sind Substanzen, die an spezifischen Acetylcholin-Rezeptoren des Erfolgsorgans antagonistisch (hemmend) wirken, z. B. Atropin. Letzteres verabreicht man beispielsweise vor einer Operation, um eine mögliche Hypersekretion von Bronchialschleim zu unterbinden, da unter Narkose das Abhusten nicht möglich ist.

11.7.3.1 Der kraniale Parasympathikus

Die Perikarya der präganglionären Neurone des Kopfteils liegen in folgenden allgemein viszeroreferenten Hirnnervenkernen (s. S. 108):

- Ncl. accessorius oculomotorii (Edinger-Westphal)
- Ncl. salivatorius superior
- Ncl. salivatorius inferior
- Ncl. posterior (dorsalis) nervi vagi.

Die präganglionären Fasern verlaufen in den Hirnnerven III, VII, IX und X und werden im Ganglion ciliare, Ganglion pterygopalatinum, Ganglion submandibulare, Ganglion oticum oder in organnahen Ganglien im Brust- und Bauchraum auf postganglionäre Neurone umgeschaltet.

Die postganglionären Fasern innervieren Drüsen im Kopfbereich, innere Augenmuskeln, Brust- und Baueingeweide (bis Cannon-Böhm-Punkt nahe der linken Kolonflexur). Ab dem Cannon-Böhm-Punkt erfolgt die Innervation vom Sakralteil des Parasympathikus.



An dieser Stelle ist es sinnvoll, den Verlauf und das genaue Innervationsgebiet der parasympathischen Hirnnervenfasern zu wiederholen (s. Kapitel 3, S. 58, 59, 67 und 69ff).

11.7.3.2 Der sakrale Parasympathikus

Die präganglionären Neurone des sakralen oder pelvinen Parasympathikus finden sich in der Zona intermedia der Rückenmarksegmente S2–S4.

Ihre Axone ziehen mit den Radices anteriores der Sakralnerven in der Cauda equina. Nach dem Durchtritt durch die Foramina sacralia pelvina verlaufen die parasympathischen Fasern dann getrennt als Nn. splanchnici pelvici (Nn. erigentes) und ziehen in den Plexus hypogastricus inferior.

Hier vermischen sie sich mit Sympathikusfasern. Ein Teil der parasympathischen Fasern wird in Ganglia pelvica des Plexus hypogastricus inferior, ein anderer Teil erst in intramuralen Ganglien umgeschaltet.

Der sakrale Parasympathikus innerviert den Dickdarm ab dem Cannon-Böhm-Punkt, die Blase und die Genitalorgane. Im Dickdarm wird die Motorik gesteigert, an der Harnblase die Miktion ermöglicht und in den Genitalorganen werden Blutgefäße erweitert (→ Erektion, daher „Nn. erigentes“).

11.7.4 Das enterische Nervensystem (Darmwandnervensystem)

Die Neurone des enterischen Nervensystems liegen im **Plexus submucosus** (**Meißner-Plexus**, in der Tunica submucosa) und im **Plexus myentericus** (**Auerbach-Plexus**, zwischen Stratum circulare und Stratum longitudinale der Tunica muscularis).

Sie sind v.a. verantwortlich für die autonome Steuerung der Darmbewegungen (zur Durchmischung und Fortbewegung des Inhalts) sowie für die Sekretion der Darmwanddrüsen.



Check-up

- ✓ **Machen Sie sich nochmals klar:**
 - worin sich Sympathikus und Parasympathikus unterscheiden und
 - wo jeweils die hauptsächlichen Umschaltstellen der sympathischen Fasern zu Brust-, Bauch- und Beckenorganen liegen.
- ✓ **Vergegenwärtigen Sie sich, zu welchen Strukturen postganglionäre sympathische Fasern des Ganglion cervicale superius ziehen.**
- ✓ **Wiederholen Sie die Besonderheit bezüglich der Innervation von Schweißdrüsen.**

11.8 Das limbische System



Lerncoach

Die einzelnen Strukturen, die funktionell zum limbischen System zählen, liegen in unterschiedlichen Hirnabschnitten. Nutzen Sie dieses Kapitel, um die entsprechenden Strukturen ggf. noch einmal nachzuschlagen und sich einen Überblick über ihre Verbindungen zu verschaffen.

11.8.1 Der Überblick

Bei neurologischen und psychiatrischen Erkrankungen sind Schädigungen limbischer Strukturen und ihrer Verbindungen sehr häufig. Neben kortikalen Arealen gehören auch zahlreiche Kerngebiete in allen Abschnitten des Gehirns zum limbischen System.

11.8.2 Die Strukturen des limbischen Systems und ihre Verbindungen

Unter dem Begriff „limbisches System“ werden in den Neurowissenschaften oft unterschiedliche Funktionen und Strukturen zusammengefasst, wobei eine exakte und umfassende einheitliche Definition kaum möglich ist. Ursprünglich wurden Hirnstrukturen, die an der medialen Hemisphärenwand wie ein Gürtel (= Limbus) den Balken ringförmig umfassen, als limbisches System definiert.

Tabelle 11.4

Kortexareale und Kerne des limbischen Systems

telenzephalare Kortexareale	Hippocampus Gyrus cinguli Indusium griseum Area entorhinalis
telenzephalare subkortikale Kerngebiete	Corpus amygdaloideum Nucleus accumbens Nuclei septales
diencephale Kerngebiete	Corpus mammillare Nuclei anteriores thalami
mesencephale Kerngebiete	Nucleus interpeduncularis Nuclei habenulares

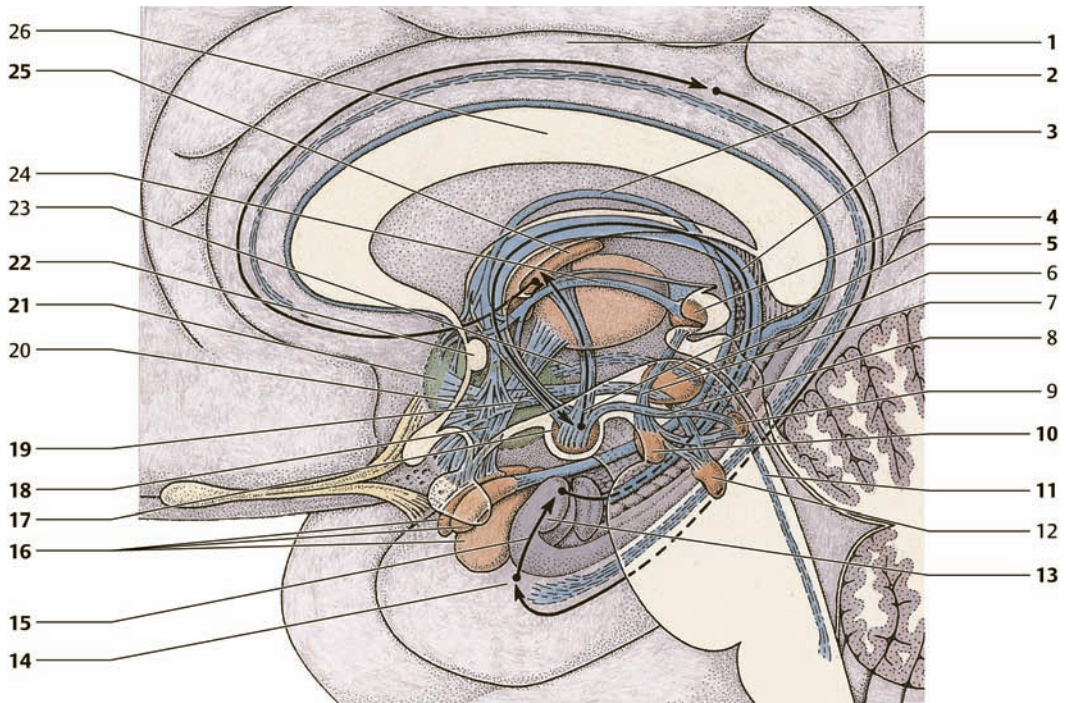
Die Strukturen, die im Allgemeinen zum limbischen System gerechnet werden, sind in Tab. 11.4 zusammengefasst.

Die komplexen Verschaltungen limbischer Strukturen sind in Abb. 11.10 zusammengefasst. Beteiligt sind folgende Verbindungsbahnen:

- Fornix (s. S. 135)
- Cingulum (s. S. 161)
- Tractus perforans (s. S. 165)
- Striae terminales (s. S. 135)
- Tractus mamillothalamicus (s. S. 135)
- Commissura anterior (s. S. 161)
- Stria longitudinalis (s. S. 147)
- Fasciculus medialis telencephali (s. S. 135)
- Fasciculus longitudinalis dorsalis bzw. posterior (s. S. 135)
- Fibrae amygdalofugales ventrales (basale Mandelkernstrahlung).

Ein Teil der angeführten Faserbahnen gehört zum **Papez-Kreis**: Die Pyramidenzellen im **Ammonshorn** und **Subiculum** des Hippocampus projizieren über den **Fornix** zum **Corpus mammillare**, deren Neurone über den **Tractus mamillothalamicus** die **anterioren Thalamuskern** erreichen. Von dort geht es weiter zum **Gyrus cinguli**, dann über das **Cingulum** zur **Area entorhinalis**. Letztere entlässt den **Tractus perforans** zum **Subiculum** und **Hippocampus** (= Ausgangspunkt).

Früher nahm man an, dass im Papez-Kreis Erregungen kreisen würden (Ärger und Wut). Heute geht man allerdings davon aus, dass die Verschaltungen wesentlich komplexer sind als im Papez-Kreis. Vergleichen Sie dazu die vielfältigen Afferenzen und Efferenzen der limbischen Strukturen.



- | | | |
|-------------------------------------|--|--|
| 1 Gyrus cinguli | 10 Ncl. interpeduncularis | 19 Fasciculus medialis telencephali |
| 2 Stria terminalis | 11 Fasciculus longitudinalis dorsalis | 20 Lamina terminalis |
| 3 Fornix | 12 Kern der Formatio reticularis | 21 Area septalis (mit Nuclei septales) |
| 4 Ncll. habenulares | 13 Hippocampus | 22 Commissura anterior |
| 5 Tractus mamillothalamicus | 14 Area entorhinalis | 23 Hypothalamus |
| 6 Ncl. ruber | 15 Tractus perforans | 24 Stria medullaris thalami |
| 7 Tractus habenulointerpeduncularis | 16 Kerne des Corpus amygdaloideum | 25 Ncl. anterior thalami |
| 8 Tractus mamillofugal | 17 Corpus mamilare | 26 Corpus callosum |
| 9 Ncl. tegmentalis dorsalis | 18 Fibræ amygdalofugales ventrales
(basale Mandelkernstrahlung) | |

Abb. 11.10 Verbindungen limbischer Strukturen

11.8.3 Die Funktionen des limbischen Systems

Das limbische System ist wesentlich beteiligt an:

- der Steuerung von Verhalten
- vegetativen Vorgängen
- Lern- und Gedächtnisvorgängen
- emotionalen Prozessen (Angst, Wut, Aggression)
- Sexualität und Arterhaltung
- der Regulation von Aufmerksamkeit, Antrieb und Aktivität.

Eine wichtige Rolle für die Bildung von Gedächtnisinhalten spielen die komplexen Verschaltungen im Hippocampus (s. S. 165).

Klinischer Bezug

Gedächtnisstörungen: Bei Läsionen limbischer Strukturen kann es zu einer anterograden Amnesie kommen. Hier ist der Erwerb neuer Gedächtnisinhalte gestört.

Auch bei der Alzheimer-Demenz weisen u. a. die limbischen Strukturen ausgeprägte degenerative Veränderungen auf.



Check-up

- ✓ Wiederholen Sie den Erregungsweg im Papez-Kreis.

Kapitel 12



Sinnesorgane

- 12.1 Das Ohr mit Hör- und Gleichgewichtsorgan 231
- 12.2 Das Sehorgan und seine Hilfseinrichtungen 243
- 12.3 Das Geruchs- und das Geschmacksorgan 253
- 12.4 Die Rezeptoren in der Haut und im Bewegungsapparat 254

Schwindel im Supermarkt



Mithilfe einer Frenzel-Brille, die eine optische Fixation verhindert sowie die Augen vergrößert und beleuchtet, ist eine bessere Beobachtung des Nystagmus möglich.

Im Innenohr liegen zwei wichtige Sinnesorgane des Menschen: das Hör- und das Gleichgewichtsorgan. Für den Hörvorgang ebenfalls von Bedeutung sind das äußere Ohr und das Mittelohr (Schallleitung und -umwandlung). Die Unterscheidung, ob eine Hörstörung im Mittelohr, im Innenohr oder im weiteren Verlauf der Hörbahn ihre Ursache hat, ist nicht immer einfach. Da das Innenohr aus dem Gehör- und dem Gleichgewichtsorgan besteht, können bei Innenohrerkrankungen nicht nur Gehörstörungen, sondern auch Symptome wie Schwindel und Übelkeit auftreten. Wie etwa bei Morbus Menière: Die Erkrankung ist durch Hörverluste und anfallsweisen Schwindel gekennzeichnet. Die Symptome erklärt man sich durch einen Hydrops der Endolymphe im Innenohr. Im Intervall zwischen den Anfällen kann es zu einer langsam fortschreitenden, meist einseitigen Schwerhörigkeit kommen.

Alles dreht sich

„Lass uns doch noch Zucchini für die Gemüsesoße kaufen“, sagt Uwe zu seiner Freundin Martha. Am Gemüsestand im Supermarkt wählen die beiden das schönste Zucchini-Exemplar aus. „Aber bitte mit Bio-Siegel!“ lacht Martha. Sie macht sich oft darüber lustig, dass Uwe so ein absoluter Öko-Fanatiker ist. Die Zucchini ist ausgesucht. Uwe und Martha marschieren gemeinsam in Richtung Kasse. Doch plötzlich bleibt Uwe stehen. Sein Gesicht wird blass.

„Mir ist irgendwie schlecht. Alles dreht sich auf einmal“, sagt er hilflos. Um nicht zu stürzen, will sich der 45-Jährige am Regal festhalten. Dabei greift er prompt am Regalgestell vorbei. Seine Hand landet in den wohlgeordneten Konserven, die im nächsten Moment mit einem lauten Krach auf den Boden fallen. Als Martha zur Hilfe herbeigeeilt kommt, sieht sie, dass Uwe stark schwitzt und dass er sich kaum auf den Beinen halten kann. „Ich habe so ein lautes Ohrensausen. Das ist ganz komisch“, sagt ihr Freund. Schon im nächsten Moment lässt er sich in die Arme von Martha fallen. „Sorry, aber alles dreht sich. Ich kann nicht alleine stehen.“

Als der Rettungsdienst im Supermarkt eintrifft, geht es dem Mann immer noch schlecht. Selbst im Sitzen fällt Uwe ständig hin. Sein Körper stürzt dabei immer auf die linke Seite. Nur im Liegen kann der 45-Jährige den Schwindel ertragen. Zum Ohrensausen gesellt sich jetzt ein starkes Druckgefühl auf dem linken Ohr.

Typische Symptomkonstellation

Im Krankenhaus hat die Assistenzärztin Dr. Evelyn L. große Schwierigkeiten, den Patienten zu untersuchen. Der Schwindel des Mannes verstärkt sich bei jeder Kopfbewegung. Die Ärztin stellt bei dem Patienten einen Drehschwindel, eine Fallneigung zur linken Seite sowie einen Spontannystagmus fest, der mit seiner kurzen Komponente nach links ausschlägt – zu derselben Seite, auf der Uwe W. das Druckgefühl im Ohr verspürt. Der 45-Jährige gibt auch an, auf der linken Seite schlechter zu hören als auf der rechten. Lähmungen oder Sensibilitätsstörungen bestehen nicht. Der Blutdruck ist normal, der Puls mit 54 Schlägen pro Minute etwas verlangsamt. Während Frau Dr. L. den Rettungsdienst-Bericht liest, überlegt sie: „Aus heiterem Himmel aufgetretener starker Drehschwindel, Ohrensausen, Brechreiz, Schweißausbruch. Bei den Symptomen könnte es sich um die Erstmanifestation eines Morbus Menière handeln.“

Therapieziel: Schwindelbekämpfung

Um den Patienten von seinem Schwindel zu befreien, verordnet ihm die Ärztin sofort nach der Untersuchung das Antivertiginosum Dimenhydrinat i. v. Die weiteren Untersuchungen des Gehörs und des Gleichgewichts will sie durchführen, wenn der Schwindel des Patienten etwas nachgelassen hat.

12 Sinnesorgane

Alle Lebewesen sind einer Vielzahl physikalischer und chemischer Reize ausgesetzt, deren Erfassung und korrekte Interpretation für das Überleben eines Individuums von entscheidender Bedeutung sind. Da diese Reize ganz unterschiedlicher Natur sein können, haben sich im Laufe der Evolution unterschiedliche Organe herausgebildet, die für die Erfassung von Umweltreizen spezialisiert sind. Oft werden bereits in diesen Sinnesorganen die resultierenden elektrischen Nervenimpulse verarbeitet, bevor sie ans ZNS weitergeleitet werden, wo die Wahrnehmung und Interpretation dieser Sinneseindrücke stattfindet.



Besonders für die Sinnesorgane bietet sich ein fächerübergreifendes Lernen an, da es viele Schnittstellen zu Inhalten der Histologie und Physiologie gibt.

12.1 Das Ohr mit Hör- und Gleichgewichtsorgan



Lerncoach

Sowohl für das Hören als auch für das Erfassen von Bewegungen und der Lage des Kopfes im Raum ist die Aufnahme von mechanischen Reizen und deren Umwandlung in elektrische Reize erforderlich. Diese Funktionen werden von Strukturen des kompliziert gebauten Ohres erfüllt. Konzentrieren Sie sich beim Lesen dieses Kapitels in erster Linie auf das Innenohr, das die Sinneszellen von Hör- und Gleichgewichtsorgan enthält. Achten Sie bei den anderen beiden Abschnitten des Ohres darauf, auf welche Weise sie jeweils zur Verbesserung der Hörfunktion beitragen.

12.1.1 Der Überblick

Das Ohr befindet sich lateral am bzw. im Os temporale des Schädels. Es gliedert sich in folgende Abschnitte:

- **Äußeres Ohr (Auris externa):** Ohrmuschel und äußerer Gehörgang tragen zum Richtungshören

bei und leiten die Schallwellen zum Trommelfell, das dadurch zum Schwingen gebracht wird.

- **Mittelohr (Auris media):** Die zu einer Kette verbundenen Gehörknöchelchen in der Paukenhöhle übertragen die Schwingungen des Trommelfells (äußeres Ohr) auf das ovale Fenster des Innenohrs. Dabei findet eine Verstärkung der Signale sowie eine Anpassung des Eingangswiderstandes (Impedanzanpassung) statt. Eine dynamische Anpassung der Empfindlichkeit kann durch die beiden kleinen Mittelohrmuskeln erfolgen. Dem Druckausgleich zwischen Paukenhöhle und Nasenrachenraum dient die Ohrtrompete (Tuba auditiva).
- **Innenohr (Auris interna):** Es besteht aus einem Labyrinth von Kanälchen und Räumen aus Knochen (Labyrinthus osseus), das ähnlich geformte Bindegewebsstrukturen (Labyrinthus membranaeus) umgibt. Funktionell unterscheidet man bei Letzterem das Labyrinthus cochlearis (→ Hören) von dem Labyrinthus vestibularis (→ Gleichgewicht).

MERKE

Während das Innenohr die Sinneszellen von Hör- und Gleichgewichtsorgan beinhaltet, sind äußeres Ohr und Mittelohr nur für den Hörvorgang von Bedeutung (→ Schallleitung und Impedanzanpassung, s. S. 235).

12.1.2 Das äußere Ohr (Auris externa)

12.1.2.1 Die Ohrmuschel (Auricula)

Die Ohrmuschel ist eine trichterförmige Hautfalte. Ihre Form wird durch elastischen Knorpel (= stützendes Gerüst) aufrechterhalten. Nur das Ohrläppchen ist knorpelfrei.

Der äußere, gebogene Rand der Ohrmuschel ist die **Helix**. Vor ihrem hinteren Teil liegt – durch eine Rinne (Scapha) abgetrennt – die bogenförmige **Anthelix**, deren untere Fortsetzung als **Antitragus** bezeichnet wird. Der **Tragus** ist ein flächenhafter Vorsprung, der sich von vorne vor die Öffnung des äußeren Gehörgangs legt. Weitere anatomische Strukturen sind **Abb. 12.1** zu entnehmen.

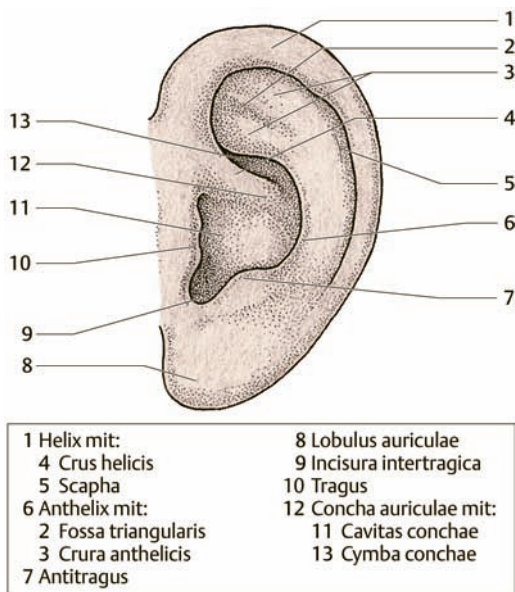


Abb. 12.1 Ohrmuschel (Relief der Außenseite)

12.1.2.2 Der äußere Gehörgang (Meatus acusticus externus)

Der äußere Gehörgang (Länge: ca. 3 cm, abhängig von der Neigung des Trommelfells, s. u.; Weite: 5–10 mm) gliedert sich in einen inneren **knöchernen** Anteil (in der Pars tympanica des Os temporale) und einen äußeren **knorpeligen Teil** (außerhalb des Schädels): Der rinnenförmige Knorpel (Cartilago meati), der oben durch straffes Bindegewebe verschlossen ist, bildet die Verbindung zwischen dem Knorpel der Ohrmuschel und dem Porus acusticus externus. Er zeigt leichte, nach vorne und unten konvexe Krümmungen und geht an der engsten Stelle des äußeren Gehörgangs unter Bildung eines stumpfen, nach unten gerichteten Winkels in den knöchernen Abschnitt über. Dieser endet am Trommelfell, das durch die Krümmungen des Gehörgangs vor direkten Verletzungen geschützt wird.

Klinischer Bezug

Otoskopie: Um mit Hilfe eines Ohrtrichters das Trommelfell betrachten zu können (s. u.), werden die Krümmungen des Gehörgangs durch einen nach hinten-oben gerichteten Zug an der Ohrmuschel ausgeglichen.

Der äußere Gehörgang wird von einem mehrschichtigen verhornten Plattenepithel ausgekleidet. Nur der knorpelige Anteil hat Haare (Tragi, besonders am Eingang), Talgdrüsen und tubulöse Glandulae ceruminosae. Das Sekret der Drüsen und abgeschilderte Epithelzellen bilden das **Cerumen** (Ohrenschmalz), das gegen Pilze, Bakterien und gegen das Eindringen von Insekten wirkt.

Klinischer Bezug

Cerumen obturans (Zeruminalpfropf): Normalerweise verlagert sich das gebildete Cerumen in Richtung der äußeren Gehörgangsöffnung. Durch Reinigungsversuche mit z. B. Wattestäbchen wird es jedoch in die Tiefe des Gehörgangs verlagert, sammelt sich dort an und verlegt u. U. den äußeren Gehörgang. Die dadurch entstehende Schalleitungsschwerhörigkeit kann durch Ohrspülung beseitigt werden.

Die vordere und untere Wand des Meatus acusticus externus liegen in Nachbarschaft zur Glandula parotidea und zum Kiefergelenk. Führt man einen Finger in den Meatus ein, so kann man die Bewegungen des Caput mandibulae beim Öffnen und Schließen des Mundes spüren.

12.1.2.3 Das Trommelfell (Membrana tympanica)

Das Trommelfell bildet die Grenze des äußeren Gehörgangs zur Paukenhöhle. Durch seine fast ringförmige Befestigung an der Pars tympanica ossis temporalis ist der größte Teil des Trommelfells straff gespannt (**Pars tensa**) und nur ein kleiner Teil im oberen Bereich schlaff und auch dünner (**Pars flaccida** = Sharpnell-Membran).

Das Trommelfell ist von außen-oben-hinten nach innen-unten-vorne in einem Winkel von etwa 45° geneigt. Dadurch ist der äußere Gehörgang hinten-oben ca. 6 mm kürzer als vorne-unten.

Beim Blick auf die Außenfläche des Trommelfells ist die von vorne-oben nach hinten-unten verlaufende **Stria mallearis** erkennbar. Hier ist an der Innenseite das Manubrium des Hammers mit dem Trommelfell fest verwachsen. Diese Verbindung ermöglicht die Übertragung von Schwingungen des Trommelfells, die durch Schalldruckschwankungen erzeugt werden, auf die Gehörknöchelchen (s. u.).

MERKE

Für die Übertragung der Schallenergie auf die Gehörknöchelchen des Mittelohrs ist die Schwingfähigkeit des Trommelfells entscheidend. Kommt es zu Beeinträchtigungen (z. B. durch Änderung der Druckverhältnisse im Mittelohr, s. u.), ist dies eine mögliche Ursache für eine Schallleitungsschwerhörigkeit.

An der Manubrium-Spitze ist das Trommelfell zum Trommelfellnabel (**Umbo**) eingezogen. Zieht man eine Linie durch die Stria mallearis (und verlängert sie bis zum Rand) und eine Linie senkrecht zur ersten und durch den Umbo, so lässt sich das Trommelfell in vier Quadranten einteilen (**Abb. 12.2**). Bei der Betrachtung des gesunden Trommelfells (mit Beleuchtung) wird ein vom Umbo nach vorne-unten gerichteter dreieckiger Lichtreflex sichtbar. Histologisch besteht das Trommelfell aus:

- Stratum cutaneum (außen): mehrschichtiges verhorntes Plattenepithel
- Lamina propria: Bindegewebe mit Kollagenfibrillen, die außen radiär, innen zirkulär angeordnet sind (wenig ausgebildet in der Pars flaccida)
- Stratum mucosum (Paukenhöhlenschleimhaut, s. u.).

12.1.2.4 Die Innervation und Gefäßversorgung des äußeren Ohres

Nerven

Die sensible Innervation der **Ohrmuschel** und des **äußeren Gehörgangs** erfolgt durch N. trigeminus (V₃, N. auriculotemporalis), N. facialis, N. glossopharyngeus und N. vagus.

Das **Trommelfell** wird außen durch den N. auriculotemporalis (aus V₃, vorne) sowie den R. auricularis des N. vagus (hinten) innerviert; innen sind Äste des Plexus tympanicus zuständig (s. S. 237).

Gefäße

Die Blutversorgung der Ohrmuschel erfolgt über die A. auricularis posterior (aus der A. carotis externa) und mehreren Rr. auriculares anteriores der A. temporalis superficialis. Der äußere Gehörgang wird aus den gleichen Gefäßen sowie zusätzlich der A. auricularis profunda (aus der A. maxillaris) versorgt.

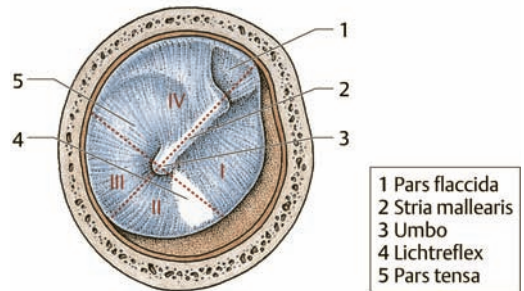


Abb. 12.2 Außenfläche des Trommelfells mit Einteilung in vier Quadranten (I–IV) bei otoskopischer Betrachtung

Die Gefäßversorgung des Trommelfells erfolgt über A. auricularis posterior (s. o.) und A. tympanica anterior (aus der A. maxillaris). Der venöse Abfluss erfolgt über gleichnamige Venen.

12.1.3 Das Mittelohr (Auris media)

12.1.3.1 Die Paukenhöhle

Die Paukenhöhle (Cavitas tympani) ist ein luftgefüllter Raum, der von Schleimhaut (mit einschichtigem Epithel, z. T. mit Kinozilien und Becherzellen) ausgekleidet ist.

Sie liegt in der Pars petrosa des Os temporale und hat die Form einer flachen Schachtel mit abgerundeten Ecken (ca. 20 mm hoch, 10 mm lang, 1,3–2 mm breit). Entsprechend dieser Form werden sechs Wände unterschieden, die nach topographischen Aspekten benannt sind (**Tab. 12.1** und **Abb. 12.3**).



Nutzen Sie die Bezeichnungen der einzelnen Paukenhöhlenwände zur Orientierung über besonders wichtige und prüfungsrelevante benachbarte Strukturen (in Tab. 12.1 fett gedruckt): Wenn man z. B. weiß, dass die mediale Wand der Paukenhöhle an das Innenohr (Labyrinth, s. S. 238) grenzt, ergeben sich die dort prominenten Strukturen automatisch.

Die Paukenhöhle wird in **drei Etagen** gegliedert:

- mittlere Etage = **Mesotympanon**: Raum hinter dem Trommelfell

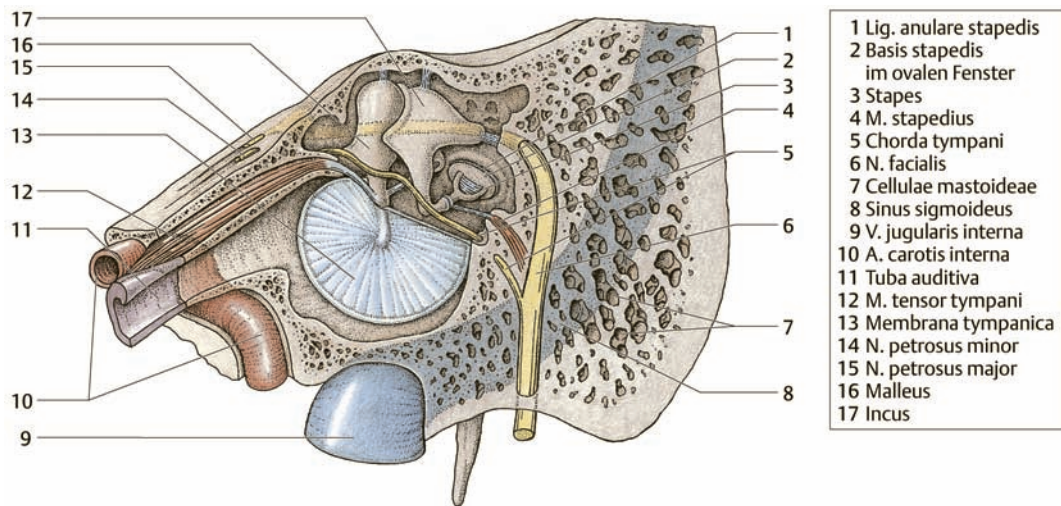


Abb. 12.3 Topographische Beziehungen der Paukenhöhle

Tabelle 12.1	
Wände und topographische Beziehungen der Paukenhöhle	
Lage und Name der Wand	wandbildende und benachbarte Strukturen
vorne: Paries caroticus	im unteren Bereich: – dünne Knochenlamelle als Abgrenzung zur Pars petrosa der A. carotis interna im Canalis caroticus – über Canaliculi caroticotympanici als Verbindung zum Canalis caroticus ziehen Aa. caroticotympanici zur Schleimhaut und vegetative (sympathische) Äste des Plexus caroticus internus zum Plexus tympanicus im oberen Bereich: innere Öffnung der Tuba auditiva (Semicanalis tubae auditivae, s. S. 237)
hinten: Paries mastoideus	Abgrenzung zu den Cellulae mastoideae im Processus mastoideus mit: – Aditus ad antrum mastoideum = kurzer Eingangskanal von der Paukenhöhle ins Antrum mastoideum (etwa bohnenförmiger Raum, von dem aus sich die Cellulae mastoideae nach unten erstrecken) – Austritt des M. stapedius – Durchtritt der Chorda tympani
unten: Paries jugularis	dünne Knochenplatte als Trennwand zum Bulbus superior der Vena jugularis interna in der Fossa jugularis in der unteren Wand: Canaliculus tympanicus, in dem N. tympanicus und A. tympanica inferior verlaufen
oben: Paries tegmentalis	dünne knöcherne Trennwand zur mittleren Schädelgrube aus Pars petrosa und Pars squamosa des Os temporale mit: – Fissura petrosquamosa und – Canaliculus n. petrosi minoris
medial: Paries labyrinthicus	Labyrinth des Innenohrs und andere prominente Strukturen: – Promontorium (durch <i>basale</i> Schneckenwindung hervorgerufene Vorwölbung) in zentraler Lage – Fenestra cochleae = rundes Fenster: unterhalb des Promontorium) – Fenestra vestibuli = ovales Fenster: hinter und über dem Promontorium – Vorwölbungen des Fazialiskanals (Prominentia canalis facialis) und des lateralen Bogengangs (Prominentia canalis semicircularis lateralis): oberhalb des ovalen Fensters bis zur Hinterwand – Processus cochleariformis: Knochenvorsprung vor dem ovalen Fenster als Hypomochlion für den M. tensor tympani
lateral: Paries membranaceus	Trommelfell (+ knöcherne Umrahmung) als Abgrenzung zum äußeren Gehörgang

- obere Etage = **Epitympanon** (Kuppelraum):
Raum oberhalb des Trommelfells
- untere Etage = **Hypotympanon** (Paukenkeller):
Raum unter dem Niveau des Trommelfells.

In der Paukenhöhle liegen die drei Gehörknöchelchen (s.u.) mit ihren Bändern, die an den Knöchelchen ansetzenden Mittelohrmuskeln, Gefäße und Nerven. Durch diese Strukturen werden Schleimhautfalten aufgeworfen, die wiederum Nischen bzw. Taschen bilden. Zwischen den Falten, die durch den Hammer gebildet werden (Plicae malleares anterior und posterior) und dem Trommelfell liegen die **Recessus membranae tympani anterior** und **posterior**. Die hintere Tasche dehnt sich hinter die Pars flaccida aus (**Recessus membranae tympani superior** = Prussak-Raum). Durch die beiden Hammerfalten zieht die Chorda tympani.

Die mit der Paukenhöhle über das Antrum mastoideum in Verbindung stehenden, ebenfalls von Schleimhaut ausgekleideten Cellulae mastoideae entstehen durch Pneumatisierung des Processus mastoideus nach der Geburt. Ihre enge topographische Beziehung zum Sinus sigmoideus ist aufgrund der Ausbreitungsmöglichkeit von Entzündungen klinisch relevant (s. S. 195).

12.1.3.2 Die Gehörknöchelchen und ihre Verbindungen

Die Funktion der Gehörknöchelchen

Die Gehörknöchelchen (Hammer = **Malleus**, Amboss = **Incus** und Steigbügel = **Stapes**, Abb. 12.4) bilden durch gelenkige Verbindungen eine Kette. Darüber werden die durch Schallwellen verursachten Schwingungen des Trommelfells am ovalen Fenster auf ein wässriges Medium (Perilymphe in der Scala vestibuli des Innenohrs) übertragen.

MERKE

Ausgehend vom Trommelfell erfolgt die Schallübertragung im Mittelohr über: Hammer (Malleus)
→ Amboss (Incus) → Steigbügel (Stapes)
→ ovales Fenster (Fenestra vestibuli).

Zusammen mit dem Trommelfell bewirken die Gehörknöchelchen dabei eine insgesamt 22-fache Verstärkung der Schallwellen (**Impedanzanpassung**). Dafür sind folgende Gegebenheiten verantwortlich:

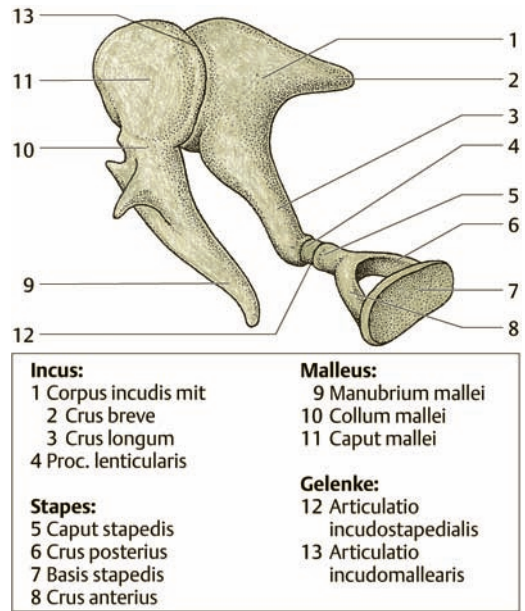


Abb. 12.4 Kette der Gehörknöchelchen

- Die Fläche des Trommelfells ist etwa 17-mal größer als die des ovalen Fensters (Fenestra vestibuli).
- Durch die unterschiedlich langen Hebelarme von Hammer und Amboss wird eine weitere etwa 1,3-fache Verstärkung erreicht.

Der Hammer (Malleus)

Der Hammer ähnelt einer Keule mit Handgriff (**Manubrium mallei**) und kugelförmigem Hammerkopf (**Caput mallei**), der auf seiner Hinterfläche eine sattelförmige Gelenkfläche besitzt. Das Caput liegt im Epitympanon. Zwischen Manubrium und Kopf liegt hinter der Pars flaccida des Trommelfells das schmale Collum mallei. Kopf und Hals sind gegenüber dem Hammergriff um etwa 130° abgewinkelt. Das Manubrium ist in der Stria mallearis des Trommelfells eingewoben.

Der Amboss (Incus)

Der Amboss setzt sich aus dem abgeflachten Körper (**Corpus incudis**) und zwei Schenkeln (**Crus longum** und **Crus breve**) zusammen. Am Corpus, das im Epitympanon liegt, findet sich auf der Vorderseite die sattelförmige Gelenkfläche für den Ham-

mer. Das Crus breve weist horizontal nach hinten. Das Crus longum verläuft senkrecht hinter und parallel zum Hammerstiel abwärts. Es besitzt ein kleines Endstückchen, den **Processus lenticularis**, der rechtwinklig nach medial umbiegt, um mit dem Steigbügel zu artikulieren.

Der Steigbügel (Stapes)

Der Steigbügel, der annähernd horizontal liegt, besitzt eine Fußplatte (**Basis stapedis**), zwei Schenkel (**Crus anterius** und **Crus posterius**, dazwischen die Membrana stapedialis) und einen Kopf (**Caput stapedis**). Letzterer hat eine konkave Gelenkfläche für die konvexe Fläche des Processus lenticularis vom Amboss. Die nierenförmige Fußplatte ist mit Hilfe des **Lig. anulare stapediale** im ovalen Fenster (Fenestra vestibuli) verankert.

Die Verbindungen der Gehörknöchelchen

Die Verbindung der Gehörknöchelchen untereinander erfolgt über zwei Gelenke, deren Beweglichkeit nur sehr gering ist (straffe Kapseln, Amphiarthrosen):

- **Articulatio incudomallearis** (Hammer-Amboss-Gelenk): Sattelgelenk mit kleinen Knochenvorsprüngen an seinen Gelenkflächen (Sperrzähne)
- **Articulatio incudostapedialis** (Amboss-Steigbügelgelenk): flaches Kugelgelenk.

Mit den Wänden der Paukenhöhle sind die Gehörknöchelchen über Bänder verbunden. Besonders wichtig ist das **Lig. anulare stapediale**, durch das die Basis stapedis am Rand der Fenestra vestibuli beweglich befestigt ist (**Syndesmosis tympanostapedialis**).

Klinischer Bezug

Otosklerose: Dieser Erkrankung liegen Knochenumbauprozesse zugrunde, bei denen es zur herdförmigen, überschüssigen Bildung von Knochengewebe besonders im Bereich des ovalen Fensters kommt. Dies führt zu einer Fixierung des Steigbügels. Es treten zunehmende Schallleitungsschwerhörigkeit und Ohrensausen (Tinnitus) auf; der Stapedius-Reflex (Kontraktion des am Steigbügel ansetzenden M. stapedius als Antwort auf definierte akustische Reize) ist ausgefallen.

12.1.3.3 Die Muskeln des Mittelohrs

Beide Muskeln des Mittelohrs setzen an den Gehörknöchelchen an, vermindern über verschiedene Mechanismen die Schallwirkung auf die Gehörknöchelchen und werden von unterschiedlichen Nerven innerviert.

Der Musculus tensor tympani

Ursprung und Ansatz I Der Muskel entspringt von den Wänden des gleichnamigen Semicanal, der am Paries labyrinthicus der Paukenhöhle endet. Seine Sehne zieht rechtwinklig um den Processus cochleariformis und setzt am Hammerhals (und an der Basis des Hammerstiels) an.

Innervation I N. pterygoideus medialis des N. mandibularis (V₃).

Funktion I Der M. tensor tympani zieht den Hammerstiel nach innen; er spannt dadurch das Trommelfell und versteift die Gehörknöchelchenkette.

Der Musculus stapedius

Ursprung und Ansatz I Dieser kleinste Muskel des Körpers entspringt im Inneren der Eminentia pyramidalis. Seine Sehne erscheint an der Spitze der Eminentia und zieht zum Caput und Crus posterius des Stapes.

Innervation I N. facialis.

Funktion I Der M. stapedius kippt den Steigbügel und verankert die Stapesplatte, deren Schwingungen im ovalen Fenster dadurch gedämpft werden.

12.1.3.4 Die Ohrtrumpete (Tuba auditiva)

Die Ohrtrumpete ist eine 4 cm lange Röhre, die den Nasenrachenraum (Pars nasalis pharyngis, Epipharynx) mit der Paukenhöhle verbindet. Sie befindet sich in enger topographischer Nachbarschaft zur A. carotis interna. Im Nasenrachenraum, dessen Schleimhaut sich auch innerhalb der Ohrtrumpete fortsetzt, liegt das trichterförmige **Ostium pharyngeum tubae auditivae**. Dann steigt die Ohrtrumpete schräg nach lateral-hinten auf und bildet mit den drei Raumbenen je einen Winkel von 45°; nur bei Neugeborenen und Kleinkindern ist sie nahezu horizontal ausgerichtet. In der Paukenhöhle mündet die Tuba auditiva mit dem **Ostium tympanicum tubae auditivae**.

MERKE:

Die Schleimhaut der Ohrtrompete ist als Fortsetzung der Rachenschleimhaut durch Flimmerepithel mit Becherzellen gekennzeichnet.

Sie besteht aus einem knöchernen und einem knorpeligen Anteil:

- Die **Pars ossea tubae auditivae** bildet das laterale Drittel und grenzt medial an den Canalis caroticus. Dieser als **Semicanalis tubae auditivae** bezeichnete untere Teil des **Canalis musculotubarius** (in der Pars petrosa) wird durch ein Septum canalis musculotubarii unvollständig von dem oberen **Semicanalis m. tensoris tympani** für den gleichnamigen Muskel getrennt. Das Lumen der Pars ossea tubae auditivae ist immer offen.
- Die **Pars cartilaginea tubae auditivae** (mediale zwei Drittel der Ohrtrompete) besteht aus einer hakenförmig gebogenen elastischen Knorpelplatte, deren Öffnung nach lateral-unten von einer Bindegewebsplatte (Lamina membranacea) bedeckt wird. Die Lichtung der Pars cartilaginea ist bis auf eine Spalte im Bereich des Hakens geschlossen, öffnet sich aber beim Schlucken durch die Aktivität der Mm. tensor veli palatini und salpingopharyngeus, die an der Pars membranacea und am Tuberknorpel entspringen. Durch das Öffnen kann ein Druckausgleich zwischen der Paukenhöhle einerseits und dem Nasenrachenraum (und damit auch der Außenatmosphäre) andererseits erreicht werden. Dieser Mechanismus dient gleichzeitig der Belüftung des Mittelohrs.

Klinischer Bezug

Mittelohrentzündung (Otitis media): Bei Entstehung der verschiedenen Formen der Mittelohrentzündung spielt die Tuba auditiva eine wesentliche Rolle.

Die **Otitis media acuta**, eine akute Entzündung der Paukenhöhlenschleimhaut, entsteht meist durch eine aufsteigende Infektion vom Nasenrachenraum über die Tube ins Mittelohr (z.B. nach einer Erkältung). Es treten heftige Ohrenschmerzen, Schallleitungsschwerhörigkeit, Kopfschmerzen und Fieber auf. Nach wenigen Tagen kann es zu einer Spontanperforation des Trommelfells mit Sekretr Austritt in den äußeren Gehörgang kommen. Dadurch bessern sich die Ohren-

schmerzen schlagartig. Kommt es nicht spontan zu einer Perforation, kann eine Parazentese (kleiner Schnitt im vorderen unteren Trommelfellquadranten) durchgeführt werden.

Das **Seromukotympanum (sekretorische Otitis media)** entsteht durch anhaltenden Unterdruck in der Paukenhöhle (bedingt durch Tubenfunktionsstörungen). Es kommt durch Umwandlungsprozesse in der Schleimhaut zur vermehrten Sekretion von Schleim. Die meist bei Kindern auftretende Erkrankung führt zu zunehmender Schwerhörigkeit. Man kann ein (kragenknopfähnliches) Paukenröhrchen in das Trommelfell einsetzen (Paukendrainage). Dieses Röhrchen stößt sich nach einiger Zeit von selbst in den äußeren Gehörgang ab, danach verschließt sich das Trommelfell wieder.

12.1.3.5 Die Innervation und Gefäßversorgung des Mittelohrs

Nerven

Die Innervation der Paukenhöhlenschleimhaut erfolgt durch den N. tympanicus aus dem N. glossopharyngeus (IX), der zusammen mit sympathischen Fasern den Plexus tympanicus bildet.

MERKE

Zu beachten ist, dass der häufig im Zusammenhang mit der Paukenhöhle genannte N. facialis und seine hier verlaufenden Äste rein topographische Beziehung zum Mittelohr haben, jedoch bis auf die Versorgung des M. stapedius nicht an dessen Innervation beteiligt sind!

Gefäße

Mit einer Ausnahme (Aa. caroticotympanici aus der A. carotis interna) erfolgt die **arterielle Versorgung** des Mittelohrs über Arterien aus Ästen der **A. carotis externa** (Aa. tympanica anterior, inferior, superior und posterior).

Die **Venen** der Paukenhöhle münden u.a. in die Sinus sigmoideus und petrosi, die V. meningea media, den Bulbus jugularis superior und die Plexus venosus pharyngeus sowie pterygoideus.

12.1.4 Das Innenohr (Auris interna)

12.1.4.1 Der prinzipielle Aufbau

Das Innenohr ist ein kompliziert gebautes Kanalsystem (Labyrinth, Abb. 12.5) und besteht aus einem

- knöchernen Labyrinth (**Labyrinthus osseus**) und einem ähnlich geformten
- häutigen (oder membranösen) Labyrinth (**Labyrinthus membranaceus**).

Das häutige Labyrinth ist ein mit **Endolymphe** gefülltes System miteinander kommunizierender Röhrchen und Säckchen, in dem an definierten Stellen die Sinneszellen für Hör- und Gleichgewichtssystem liegen. Es befindet sich innerhalb des knöchernen Labyrinths, das geräumiger ist als das häutige. Dadurch entsteht ein Spaltraum (Perilymphraum), der die **Perilymphe** enthält. Letztere umhüllt also das häutige Labyrinth wie ein breiter Flüssigkeitsmantel.

Im Einzelnen besteht das knöcherne Labyrinth aus folgenden Anteilen:

- **Vestibulum** (Vorhof): In ihm liegen **Sacculus** und **Utriculus** des häutigen Labyrinths mit Sinneszellen des Gleichgewichtsorgans (s.S. 241). Das Vestibulum steht zum einen über das ovale Fenster (Fenestra vestibuli), in dem die Basis des Steigbügels liegt, mit der Paukenhöhle in Verbindung, zum anderen münden darin die folgenden weiteren Hauptstrukturen des knöchernen Labyrinths:

- **Canales semicirculares** (drei knöcherne Bogengänge), in denen die häutigen Bogengänge (**Ductus semicirculares**) ebenfalls mit Sinneszellen des Gleichgewichtsorgans liegen, und
- **Cochlea** (Schnecke), die über das runde Fenster (Fenestra cochleae) mit der Paukenhöhle in Verbindung steht und den häutigen Schneckengang (**Ductus cochlearis**) mit Sinneszellen des auditorischen Systems enthält (s.u.).

Das Vestibulum setzt sich in den **Meatus acusticus internus** (innerer Gehörgang) fort, an dessen Beginn auch die Schneckebasis liegt. In ihm verlaufen der N. vestibulocochlearis (VIII), N. facialis (VII) sowie die A. und V. labyrinthi bis zum Porus acusticus internus der hinteren Schädelgrube.

12.1.4.2 Das Hörorgan mit zugehörigen Anteilen des knöchernen und häutigen Labyrinths

MERKE

Das Hörorgan (Corti-Organ) liegt im membranösen Ductus cochlearis innerhalb der knöchernen Schnecke (Cochlea).

Die Cochlea (Schnecke) und der Ductus cochlearis

Die knöcherne Schnecke ist insgesamt 4–5 mm hoch. Ihre Spitze (Cupula cochleae) zeigt nach vor-

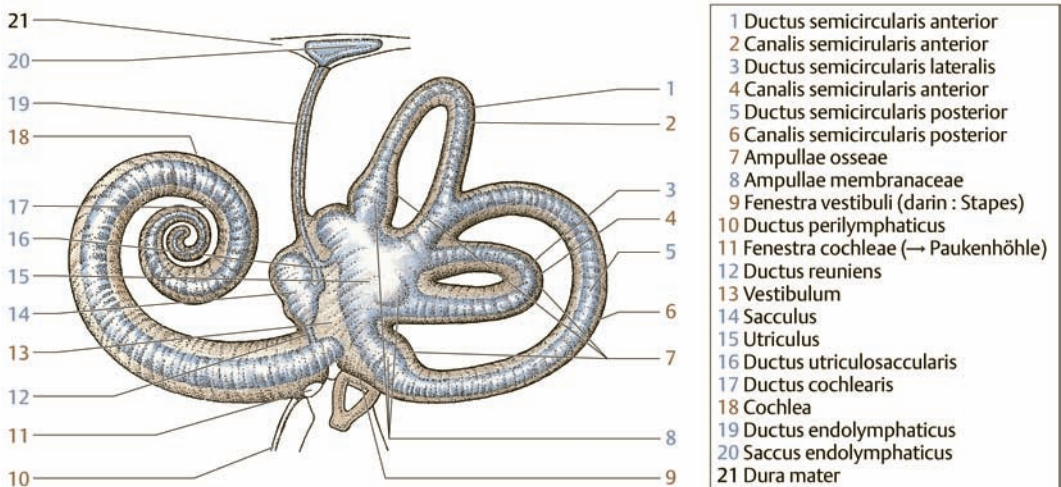


Abb. 12.5 Labyrinth des Innenohrs

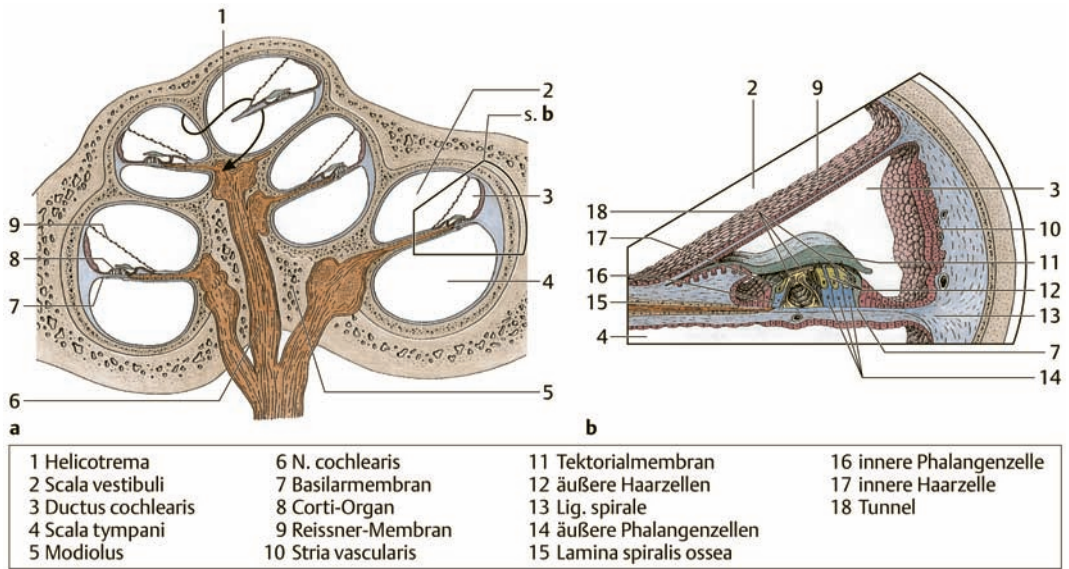


Abb. 12.6 Aufbau der Cochlea (a) und des Corti-Organ (b)

ne-lateral-unten; ihre 8–9 mm breite Basis (Basis cochleae) ist zum inneren Gehörgang gerichtet. Der knöcherne Schneckenengang (**Canalis spiralis cochleae**) windet sich spiralg 2,5-mal um eine knöcherne Achse, den **Modiolus** (kegelförmige Schneckenwindung). Die vom Modiolus abgehende Wand zwischen den Windungen bildet das knöcherne Septum cochleae. In die Schneckenwindung hinein ragt als plattenförmiger Knochenvorsprung die **Lamina spiralis ossea**, die ebenfalls vom Modiolus abgeht und sich um ihn windet. Vom freien Rand der Lamina spiralis ossea zieht die **Lamina basilaris (Basilarmembran)** zur seitlichen Wand des Schneckenkanals, wo sie über das Lig. spirale am Periost verankert ist.

MERKE:

Die Basilarmembran ist zwischen der Lamina spiralis ossea (innen) und dem Lig. spirale (außen) befestigt.

Auf diese Weise wird der Schneckenkanal in zwei „Etagen“ geteilt, die mit Perilymphe gefüllt und an der Schnecken Spitze über das Schneckenloch (**Helicotrema**) miteinander verbunden sind (Abb. 12.6a).

- Die obere **Scala vestibuli** steht über das Vestibulum mit dem ovalen Fenster (Fenestra vestibuli) in Verbindung,
- die untere **Scala tympani** (unten) endet am runden Fenster (s. Druckausgleich, S. 240).

Kurz vor dem runden Fenster geht von der Scala tympani der Ductus perilymphaticus ab, der durch den Canaliculus cochleae verläuft und vor der Fossa jugularis endet. Hier besteht eine Verbindung des Ductus endolymphaticus mit dem Subarachnoidalraum.

Zwischen Scala vestibuli und Scala tympani liegt der mit Endolymphe gefüllte **Ductus cochlearis**, der an der Schnecken Spitze blind endet. Im Querschnitt durch den Schneckenengang sieht man seine dreieckige Form mit folgenden Begrenzungen:

- Dach (Abgrenzung gegenüber der Scala vestibuli): **Reissner-Membran** (Membrana vestibularis = Basalmembran mit einschichtigem Epithel auf beiden Seiten)
- äußere Wand: **Lig. spirale** und seinem speziellen, mehrschichtigen kapillarisierten Epithelüberzug (**Stria vascularis**), der die kaliumreiche Endolymphe sezerniert

- Boden (Abgrenzung gegenüber der Scala tympani): Lamina spiralis ossea und **Basilarmembran** mit dem **Corti-Organ**.

MERKE:

Die Stria vascularis ist für die hohe K^+ -Konzentration in der Endolymphe verantwortlich, die für die Erregung der Sinneszellen (s. u.) eine bedeutende Rolle spielt.

Das Corti-Organ (Organum spirale)

Das Corti-Organ (**Abb. 12.6b**) ist ein System aus Sinneszellen und Stützzellen (u.a. Pfeiler- und innere sowie äußere Phalangenzellen). Darüber liegt die zellfreie, gallertige Tektorialmembran (Membrana tectoria), die vom Limbus spiralis (auf dem freien Ende der Lamina spiralis ossea) entspringt.

Zwischen den **Stützzellen** finden sich drei Tunnel mit hier als Corti-Lympe bezeichneter Perilymphe, die durch die Basilarmembran diffundieren kann. Apikal bilden die Stützzellen durch interzelluläre Verbindungen eine Diffusionsbarriere (in ihrer Gesamtheit als Lamina reticularis bezeichnet) gegenüber der Endolymphe im Ductus cochlearis.

Bei den **Sinneszellen** unterscheidet man

- **innere Haarzellen** (in einer Reihe liegend) und
- **äußere Haarzellen** (in 3–5 Reihen angeordnet).

Die Haarzellen besitzen apikal 50–100 Stereozilien, die nach Größe sortiert in mehreren Reihen angeordnet und durch sog. Tip links untereinander befestigt sind. Die Spitzen der Haarzellen ragen durch die Lamina reticularis hindurch, wobei die längsten Stereozilien der äußeren Haarzellen die Tektorialmembran erreichen.

Die Verarbeitung des Schalls im Innenohr

Die Schwingungen der Steigbügelplatte im ovalen Fenster werden auf die Perilymphe in der Scala vestibuli übertragen. Ein Druckausgleich erfolgt am Ende am runden Fenster (Fenestra cochleae mit Membrana tympanica secundaria). Durch die Druckstöße auf die Perilymphe entstehen Wellenbewegungen von der Basis zur Spitze der Cochlea, die zu Auslenkungen der Basilarmembran führen (**Wanderwellen**). Die Amplitudenmaxima entstehen dabei frequenzabhängig (bei hohen Frequenzen in der Basis, bei niedrigen Frequenzen im Spitzenbereich der Cochlea). An der Stelle der größten Aus-

lenkung der Basilarmembran wirkt dann zunächst ein **kochleärer Verstärkermechanismus**: Durch Scherbewegungen zwischen Membrana tectoria und den Stereozilien der **äußeren** Haarzellen öffnen sich K^+ -Kanäle in ihrer Membran. Der Kaliumeinstrom aus der Endolymphe führt über eine Potenzialänderung letztendlich zu „Kontraktionen“, an denen Konformationsänderungen eines Proteins (**Prestin**) in der lateralen Zellmembran beteiligt sind. Die Längenveränderungen der äußeren Haarzellen rufen **otoakustische Emissionen** (Schallabstrahlungen aus dem Innenohr) hervor. Erst die Kontraktionen der äußeren Haarzellen rufen mikro-mechanische Schwingungen der Basilarmembran hervor, sodass die im Ruhezustand weiter entfernten Kinozilien der **inneren** Haarzellen an die Tektorialmembran stoßen. Der von den inneren Haarzellen daraufhin freigesetzte Neurotransmitter erregt die peripheren Fortsätze bipolarer Neurone, deren Perikarya im Modiolus das **Ganglion spirale cochleae** bilden. Deren zentrale Fortsätze ziehen zum inneren Gehörgang und bilden den N. cochlearis als Teil des N. vestibulocochlearis (s. S. 69). Eine größere Schallintensität führt zu häufigeren Aktionspotentialen in den Nervenfasern und einer Einbeziehung (Rekrutierung) benachbarter Nervenfasern.

MERKE

Durch Auslenkung von Stereozilien der **inneren** Haarzellen wird frequenzspezifisch an eng umschriebener Stelle der adäquate Reiz für die Signalweiterleitung in die Hörbahn erzeugt. Die **äußeren** Haarzellen wirken dabei durch aktive Längenänderung als Signalverstärker.

Klinischer Bezug**Innenohrschädigung durch äußere Einwirkungen:**

Die Haarzellen der Cochlea sind sehr empfindlich und können durch verschiedene Mechanismen geschädigt werden. Beim **akuten akustischen Trauma** (Knalltrauma) durch ein intensives, sehr kurz dauerndes Schalleignis (z.B. Schuss, Knallkörper) kann es zu einer direkten mechanischen Schädigung der Sinneszellen kommen, die sich jedoch oft in den ersten Tagen nach dem Ereignis bessert. Irreversibel dagegen sind mechanische Läsionen der Sinneszellen, die durch

chronische Lärmbelastung entstehen, vom Schallpegel sowie der Expositionsdauer abhängen und zu einer **chronischen Lärmschwerhörigkeit** führen.

Auch bestimmte ototoxische Medikamente können die Haarzellen schädigen, wie z. B. die Aminoglykosid-Antibiotika, die besonders bei Einschränkung der Nierenfunktion hohe Konzentrationen in der Endolymphe erreichen und irreparable Zellschäden verursachen.

Eine Innenohrschädigung kann durch die Messung von transitorisch evozierten otoakustischen Emissionen geprüft werden. Diese erlauben über die selektive Funktionsprüfung der äußeren Haarzellen einen Rückschluss auf das Hörvermögen.

12.1.4.3 Das Gleichgewichtsorgan mit zugehörigen Anteilen des knöchernen und häutigen Labyrinths

MERKE

Das Gleichgewichtsorgan setzt sich aus verschiedenen Sinnesfeldern zusammen, die auf unterschiedliche Reize reagieren.

Die Bogengänge

In den drei knöchernen Bogengängen (**Canales semicirculares anterior, posterior und lateralis**), die jeweils vor ihrer Einmündung in das Vestibulum eine Erweiterung (Ampulla ossea) aufweisen, liegen die drei membranösen Bogengänge (**Ductus semicirculares anterior, posterior und semicirculares**). Ihre Erweiterungen (Ampullae membranaceae) tragen Sinnesleisten (**Cristae ampullares**) für die Wahrnehmung von Drehbeschleunigungen.

Das Vestibulum mit Sacculus, Utriculus und ihren Verbindungen

Im knöchernen **Vestibulum** liegen **Sacculus** und **Utriculus** mit ihren Makulaorganen (**Maculae staticae**), die aufgrund ihrer Ausrichtung senkrechte und horizontale Linear- oder Translationsbeschleunigungen registrieren. Der Sacculus steht über den **Ductus reuniens** mit dem Ductus cochlearis in Verbindung. Sacculus und Utriculus sind durch den Ductus utriculosaccularis miteinander verbunden, von dem der **Ductus endolymphaticus** abgeht. Letzterer verläuft im Aqueductus vestibuli, bzw. in dessen Fortsetzung (Canaliculus vestibuli), der auf der

hinteren Fläche der Pars petrosa des Os temporale endet.

Der distale Teil des Ductus endolymphaticus ist zum Saccus endolymphaticus erweitert, der blind endet und sich z. T. unter der Dura ausdehnt. Sein Epithel besitzt hier u. a. Aquaporine. Funktionell ist er wahrscheinlich für die Resorption der Endolymphe oder Druckausgleich zuständig.

Die vestibulären Sinnesfelder

Der Aufbau der vestibulären Sinnesfelder ist grundsätzlich ähnlich und z. T. auch vergleichbar mit dem Corti-Organ. Sie bestehen aus **Sinnes-** und **Stützzellen**, die von einer **Gallertmembran** bedeckt werden (vergleichbar mit Tektorialmembran, s. o.).

Jede Sinnes- oder Haarzelle, bei denen man zwei Typen unterscheidet, trägt apikal ein langes Kinozilium und ca. 80 Stereozilien, die nach Länge angeordnet, durch Tip links verbunden sind (→ gleichzeitige und gleichsinnige Auslenkung) und in die gallertige Masse hineinragen. Die Stützzellen liegen zwischen den Sinneszellen und sind apikal durch Zellkontakte mit den Sinneszellen verbunden.

Die Gallertmembran der Maculae ist etwas anders beschaffen als die in den Bogengangsampullen:

- Auf der **Crista ampullaris** erstreckt sich die gallertige **Cupula** quer durch die Endolymphe bis zum Dach der Ampulle, wo sie befestigt ist (**Abb. 12.7**). Bei Beginn oder Ende einer Drehbewegung des Kopfes wird in dem betroffenen Gehörgang die Endolymphe aufgrund ihrer Trägheit weniger schnell bewegt als die fixierte Cupula. Dadurch lenkt die Endolymphe die Cupula in der Gegenrichtung aus, was zu einer Knickung der Kino- und Stereozilien führt.
- An der Oberfläche der gallertigen Deckschicht der **Maculae** sind Kalkkonkremente eingelagert (Stato- oder Otolithen = **Statoconia**), weshalb sie auch als Stato- oder Otolithenmembran bezeichnet wird (**Membrana statoconiorum**, **Abb. 12.8**).
 - Die **Maculae utriculi** stehen bei aufrechter Kopfhaltung waagerecht und werden somit durch die Schwerkraft nicht erregt. Lineare Beschleunigungen, wie z. B. beim Autofahren, führen zu leichten Verschiebungen der Statolithenmembran, was Scherbewegungen der Kino- und Stereozilien erzeugt.

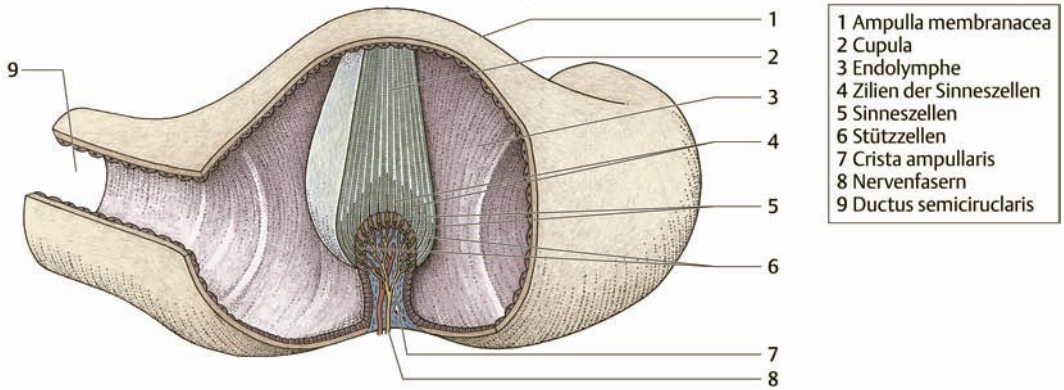


Abb. 12.7 Bogengangsampulle mit Crista ampullaris

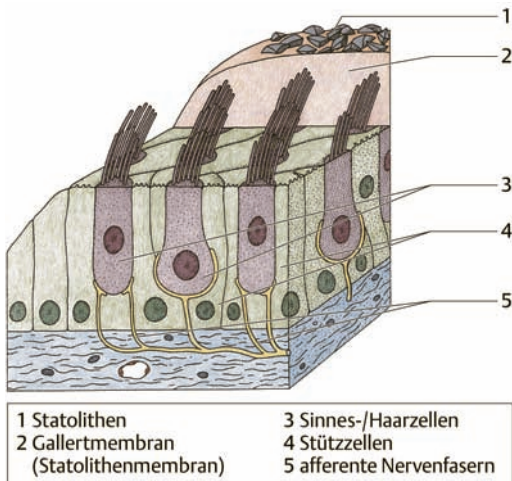


Abb. 12.8 Aufbau der Macula statica

- Die **Maculae sacculi** stehen bei aufrechter Stellung des Kopfes senkrecht. Die Schwerkraft verschiebt daher die Statolithenmembran nach unten. Beschleunigungen in Richtung der Schwerkraft (z.B. im Aufzug) erhöhen oder reduzieren die Erdbeschleunigung und führen damit zu Veränderungen bei der Auslenkung der Kino- und Stereozilien.

Die Auslenkung (Scherbewegung) der Kino- und Stereozilien führt über Veränderung von Ionenströmen an der Membran letztendlich zu erhöhter Transmitterfreisetzung in den basal gelegenen synaptischen Spalt und damit zu einer Aktivierung der afferenten Nervenfasern.

MERKE

Die Haarzellen der Cristae ampullares in den Bogengängen, die in die Cupula ragen, registrieren Drehbeschleunigungen. Die Haarzellen der Maculae in Sacculus und Utriculus werden bei Linear- bzw. Translationsbeschleunigungen durch Verschiebungen der Statolithenmembran erregt. Alle Haarzellen des Vestibularorgans sind sekundäre Sinneszellen. An ihnen enden afferente Nervenfasern, deren Perikaryen das Ggl. vestibulare am Beginn des inneren Gehörgangs bilden.

Die afferente Innervation der Sinnesfelder des Vestibularorgans erfolgt durch (dendritische) Axone bipolarer Nervenzellen des **Ganglion vestibulare**, das sich am Boden des inneren Gehörgangs befindet. Die zentralwärts gerichteten Axone der großen bipolaren Neurone bilden den N. vestibularis des N. vestibulocochlearis (VIII).

Klinischer Bezug

Peripher-vestibulärer Schwindel: Kristallablagerungen in der Macula utriculi, virale Entzündungen und Durchblutungsstörungen des Innenohrs können zu peripher-vestibulären Schwindelattacken führen, die sich in Dreh- oder Schwankschwindel, Übelkeit und Erbrechen äußern. Aufgrund der Verschaltung des vestibulären Systems (s.S. 217) kann auch ein Nystagmus auftreten.



Check-up

- ✓ Rekapitulieren Sie, welcher Nerv überwiegend für die Innervation der Mittelschleimhaut zuständig ist.
- ✓ Welche Strukturen finden sich im Meatus acusticus internus bzw. in seiner Wand?
- ✓ Wiederholen Sie, was der Ductus endolymphaticus und der Ductus reuniens sind.
- ✓ Führen Sie sich nochmals vor Augen, was passiert, wenn die Basilarmembran durch Druckwellen der Perilymphe in Schwingungen gerät.
- ✓ Rekapitulieren Sie, wo die Zellkörper der Nervenfasern liegen, die an den inneren Haarzellen enden.
- ✓ Machen Sie sich noch einmal klar, in welchen Anteilen des häutigen Labyrinths die Sinneszellen des Hör- und des Gleichgewichtsorgans jeweils liegen und wodurch sie erregt werden.

12.2 Das Sehorgan und seine Hilfseinrichtungen



Lerncoach

Um beim Erlernen der zahlreichen Strukturen, die zur Sehfunktion beitragen, nicht den Überblick zu verlieren, orientieren Sie sich am besten an folgenden funktionellen Aspekten:

- Passage des Lichtes durch lichtbrechende Strukturen des Augapfels
- Verarbeitung des Lichtreizes in elektrische Signale durch Photorezeptoren der Netzhaut
- Ausrichtung des Augapfels durch äußere Augenmuskeln, die wie Lider und Tränenapparat zur Ausübung von Schutzfunktionen zum Hilfsapparat des Auges zählen.

12.2.1 Der Überblick

Das Sehorgan besteht aus dem **Bulbus oculi** (Augapfel) mit dem Sehnerv (**N. opticus**) und Hilfseinrichtungen (Tränenapparat, Lider, Bindehaut und äußeren Augenmuskeln). Im Bulbus oculi fokussiert der **optische Apparat** das einfallende Licht auf die Sin-

neszellen (Stäbchen- und Zapfenzellen) in der Retina am Augenhintergrund. Dabei sind an der **Lichtbrechung** Cornea mit Tränenfilm, Kammerwasser, Linse und Glaskörper) beteiligt. In Abhängigkeit von der Lichtintensität kann die Weite der Pupille, einer im Normalfall kreisrunden Öffnung variabler Größe im Zentrum der Iris, durch zwei **innere Augenmuskeln** (M. sphincter pupillae und M. dilatator pupillae) eingestellt werden. Der dritte innere Augenmuskel (M. ciliaris) liegt im Ziliarkörper und kann die Krümmung der Linse und damit ihre Brechkraft regulieren (Nah- und Fernakkommodation). Der Ziliarkörper produziert zudem das Kammerwasser, das die hintere und vordere Augenkammer ausfüllt.

In der Retina wird das Signal von den Sinneszellen über Bipolarzellen auf die Ganglienzellen des N. opticus weitergeleitet.

Die **Hilfseinrichtungen** des Auges haben unterschiedliche Funktionen: Der Augapfel wird durch 6 **äußere Augenmuskeln** (4 Mm. recti und 2 Mm. obliqui) bewegt. Die Augenlider (**Palpebrae**) begrenzen die Lidspalte, die durch die Mm. tarsales und levator palpebrae superioris geöffnet und durch den M. orbicularis oculi geschlossen wird. Die in der Tränendrüse (**Glandula lacrimalis**) gebildete Tränenflüssigkeit wird von den Lidern verteilt und fließt über Canaliculi lacrimales und Saccus lacrimalis in den Tränennasengang (Ductus nasolacrimalis) in den unteren Nasengang ab.

Umgeben von einem Fettgewebeskörper liegen der Bulbus oculi mit dem Sehnerv, die äußeren Augenmuskeln, die Glandula lacrimalis sowie die versorgenden Leitungsbahnen in der knöchernen **Orbita** (Augenhöhle).

12.2.2 Der prinzipielle Aufbau des Bulbus oculi

Der Bulbus oculi (**Abb. 12.9**) ist annähernd rund. Der vordere Augenpol (Polus anterior) liegt im Bereich der Cornea (Hornhaut), der hintere Pol (Polus posterior) liegt dem vorderen Augenpol gegenüber. Senkrecht zur Verbindungsachse der Pole (= optische Achse) verläuft der **Äquator**, der den Bulbus in eine vordere und hintere Hälfte teilt. Etwas medial vom Polus posterior verlässt der N. opticus den Bulbus.

Die **Bulbuswand** besteht aus drei Schichten (**Tab. 12.2**).

Tabelle 12.2

Schichten der Bulbuswand		
Schicht	Anteile	Hauptfunktion
Tunica fibrosa bulbi (äußere Augenhaut)	Cornea (Hornhaut, vorne)	→ Lichtbrechung
	Sclera (Lederhaut, hinten)	→ Kompensation des Augenbinnendrucks
Tunica vasculosa bulbi (mittlere Augenhaut)	Iris (Regenbogenhaut) mit: – Mm. sphincter und dilatator pupillae	→ Regulation des Lichtdurchtritts (Adaption) durch die Pupille → Lichtundurchlässigkeit der Iris
	– Epithel an der Irisrückseite (Teil der Pars caeca retinae*, s. u.)	
	Corpus ciliare (Ziliarkörper) mit: – M. ciliaris	→ Regulation der Brechkraft der Linse (Akkommodation) → Produktion von Kammerwasser
	– Ziliarepithel (Teil der Pars caeca retinae*, s. u.)	
Tunica interna bulbi (innere Augenhaut)	Choroidea (Aderhaut, Gefäße s. S. 253)	→ Nährstoffzufuhr und Fernakkommodation (durch Bruch-Membran, s. u.)
	Retina (Netzhaut) mit: – Pars optica (lichtempfindlicher Teil)	→ Signaltransduktion und Weiterleitung
	– Pars caeca („blinder“ Teil): bildet als Pars iridica retinae und Pars ciliaris retinae das Epithel auf der Innenseite von Iris bzw. Ziliarkörper der mittleren Augenhaut*	→ s. Ziliar- und Irisepithel

* Diese Überschneidung von innerer und mittlerer Augenhaut ist entwicklungsgeschichtlich bedingt.

12

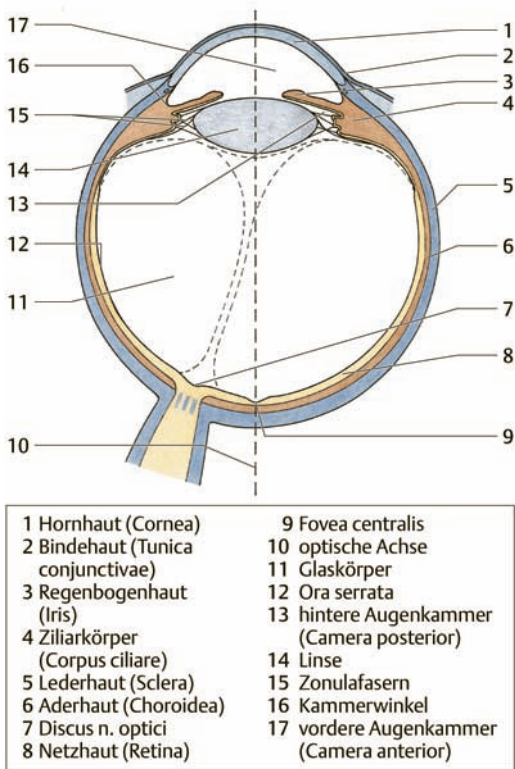


Abb. 12.9 Horizontalschnitt durch den Bulbus oculi

Eine besondere Bedeutung kommt der **Bruch-Membran** zu (s. S. 246 und 247), die sich als 2 µm dicke Schicht aus Extrazellulärmaterial (insbesondere elastische Fasern und Kollagenfibrillen) zwischen Choroidea und Retina erstreckt.

Im **Innenraum** des Bulbus oculi finden sich die Linse (**Lens**) und die Augenkammern (**Camerae bulbi**), von denen die hinterste (Camera postrema) den Glaskörper (**Corpus vitreum**) enthält, die davor gelegenen (Camera posterior und anterior) dagegen mit **Kammerwasser** gefüllt sind.

12.2.3 Der optische Apparat

Beim Durchtritt des Lichtes durch Cornea (mit Tränenfilm), Kammerwasser, Linse und Glaskörper wird es gebrochen. Die Brechkraft kann dabei durch Änderung der Linsenkrümmung variiert werden (Akkommodation), sodass je nach Fokussierung Objekte entweder in der Nähe oder in der Ferne scharf erscheinen. Hierfür spielt der M. ciliaris eine entscheidende Rolle. Eine weitere regulierbare Größe ist der Lichtdurchtritt durch die Pupille (zentrale Öffnung in der vor der Linse gelegenen Iris), die durch den M. dilatator pupillae weit oder durch seinen Gegenspieler (M. sphincter pupillae) eng gestellt werden kann.

12.2.3.1 Die Hornhaut

Die gefäßfreie Hornhaut (Cornea) bildet den vorderen Anteil der äußeren Augenhaut. Sie ist stärker gekrümmt als die Lederhaut (Sclera), die sie nach lateral und hinten fortsetzt, und trägt dadurch mit ca. 40 Dioptrien maßgeblich zur Gesamtbrechkraft des Auges (ca. 65 Dioptrien) bei. Sie besteht größtenteils aus parallel angeordneten Kollagenfasern, die vorne von einem mehrschichtigen, unverhornten (!) Epithel (auf der **Bowman-Membran**) und hinten von einem einschichtigen Epithel (auf der **Descemet-Membran**) bedeckt sind. Innerviert wird die Hornhaut über sensible Trigemini-fasern (s. a. Kornealreflex, S. 62).

MERKE

Die Vorderfläche der Cornea trägt am meisten zur Gesamtbrechkraft des Auges bei.

12.2.3.2 Die Linse

Die bikonvexe, transparente Linse (Lens) ist hinten stärker gekrümmt als vorne. Sie wird vollständig von einer sehr dicken, kohlenhydratreichen Basalmembran, der **Linsenkapsel**, umhüllt. Das nur an der Vorderfläche vorhandene Linsenepithel liegt subkapsulär. Es enthält mitoseaktive Stammzellen, aus denen die **Linsenfasern** hervorgehen. Letzte bilden die Hauptmasse der Linse und sind langgestreckte, dünne, kernlose, aber vitale Zellen, von denen die neu gebildeten immer außen liegen. Die Linse ist gefäß- und nervenfrei; ihre Ernährung erfolgt über das Kammerwasser. Sie ist leicht verformbar, sodass ihre Krümmung und damit ihre Brechkraft verändert werden kann. Diese Formveränderung erfolgt über Anspannung und Erschlaffen der Zonulafasern, die als Aufhängebänder der Linse in der Basalmembran des Ziliarepithels (s. u.) verankert sind.

Klinischer Bezug

Katarakt (grauer Star): Von einer Katarakt spricht man, wenn die Linse so stark getrübt ist, dass die Sicht des Patienten beeinträchtigt ist. Neben zahlreichen anderen Ursachen ist der Verlust an Transparenz der Linse im Alter ein normaler Vorgang, der durch den sinkenden Wassergehalt und erhöhten Anteil unlöslicher Linsenproteine zustande kommt. Die da-

durch bedingte Sehverschlechterung (Grauschleier, unscharfes Sehen, veränderte Farbwahrnehmung) kann verschiedene Ausprägungen haben und auch individuell unterschiedlich empfunden werden. Die operative Therapie ist der am häufigsten durchgeführte Eingriff in der Augenheilkunde.

Presbyopie (Altersweitsichtigkeit): Durch die im Alter nachlassende Elastizität der Linse wird ihr Krümmungsradius im „entspannten“ Zustand (s. u.) geringer. Dies hat eine verminderte Brechkraft mit schlechterem Sehen in der Nähe zur Folge, ohne dass die Sehfähigkeit in der Ferne beeinträchtigt ist, sodass i. d. R. nur zum Lesen eine Brille benötigt wird.

MERKE

Wie die Hornhaut ist auch die Linse frei von Blutgefäßen. Beide Strukturen werden über das Kammerwasser ernährt. Im Unterschied zur Hornhaut wird die Linse *nicht* sensibel innerviert.

12.2.3.3 Die Iris

Die Iris ist der Linse wie eine Scheibe mit zentraler Öffnung (**Pupille**) angelagert. Die Pupillenweite kann durch Muskeln (s. u.) reguliert werden. In der Nähe der Pupille liegt der ringförmige M. sphincter pupillae (→ Pupillenverengung = **Miosis** mit gleichzeitiger Erweiterung des Kammerwinkels durch Parasympathikusinnervation; Kammerwinkel s. S. 246). An der Hinterfläche liegt das zweischichtige Irisepithel (als Teil der Pars caeca retinae, s. Tab. 12.2). Da die Zellen beider Schichten pigmentiert sind, ist die Iris lichtundurchlässig. Die Zellen der hinteren Schicht sind radiär angeordnet und haben Muskeleigenschaften (Myoepithel): Sie bilden den M. dilatator pupillae (→ Pupillenerweiterung = **Mydriasis** durch Sympathikusinnervation). Anzahl und Anordnung von Melanozyten in der Iris bestimmen die Augenfarbe (zahlreiche Melanozyten → braune Augen).

12.2.3.4 Der Ziliarkörper

Der Ziliarkörper reicht von der Basis der Iris bis zur Höhe der Ora serrata (s. u.) und gliedert sich in eine Pars plana (liegt dem Glaskörper an) und eine Pars plicata (grenzt an hintere Augenkammer) mit ca. 70 kleinen Ziliarfortsätzen. Er spielt sowohl für

Tabelle 12.3

Begrenzungen der vorderen und hinteren Augenkammer	
Augenkammer	Begrenzungen
Vordere Kammer (Camera anterior)	ventral: Rückseite der Cornea dorsal: Linse und Vorderseite der Iris lateral: Kammer- oder Iridokornealwinkel
Hintere Kammer (Camera posterior)	ventral: Rückseite der Iris dorsal: Glaskörper medial: Linse lateral: Ziliarkörper mit Befestigung der Zonulafasern, die durch die hintere Augenkammer laufen

die Brechkraftveränderung der Linse eine Rolle als auch für die Produktion des Kammerwassers.

Die Brechkraft der Linse wird durch den parasympathisch innervierten **M. ciliaris** verändert. An diesem inneren Augenmuskel aus glatten Muskelzellen unterscheidet man folgende Anteile:

- **Fibrae meridionales** (longitudinal von vorne nach hinten, **Brücke-Muskel** → für den Abfluss des Kammerwassers von Bedeutung, s.u.). Dieser Muskel entspringt an der Übergangszone von Cornea und Sclera (Limbus corneae) und inseriert in der elastischen Bruch-Membran (s. S. 244)
- **Fibrae radiales**
- **Fibrae circulares** (**Müller-Muskel**).

Durch Kontraktion des Muskels wird der Ziliarkörper nach vorne und innen gezogen. Dadurch erschlaffen die Zonulafasern, die als Aufhängebänder der Linse in der Basalmembran des Ziliarepithels verankert sind. Infolge ihrer Eigenelastizität nimmt die Krümmung der Linse zu, wodurch ihre Brechkraft erhöht wird. Somit wird es möglich, nah gelegene Gegenstände zu fokussieren (→ Nahakkommodation, kurz auch als Akkommodation bezeichnet). Bei Erschlaffung des Ziliarmuskels passiert das Gegenteil: Die Zonulafasern werden durch die elastischen Eigenschaften der Bruch-Membran gespannt und führen zur Abflachung der Linse und damit zur Reduktion der Brechkraft (→ Fern- oder Desakkommodation).

MERKE

Kontraktion des M. ciliaris → Erschlaffung der Zonulafasern → Linsenkrümmung ↑ → Brechkraft ↑ → Nahakkommodation.

Erschlaffung des M. ciliaris → Spannung der Zonulafasern → Linsenkrümmung ↓ → Brechkraft ↓ → Fern-/Desakkommodation.

Die kontinuierliche Produktion des Kammerwassers (s.u.) erfolgt durch das Epithel der Ziliarfortsätze. Von den beiden Schichten des Ziliarepithels ist nur die äußere Schicht pigmentiert. Beide werden von einer Basallamina umgeben.

MERKE

Während beim *Irisepithel* *beide* Schichten pigmentiert sind, trifft dies beim *Ziliarepithel* nur für die *äußere* Schicht zu. Beide Epithelien leiten sich vom Pigmentepithel der Retina (Pars caeca retinae, s.u.) her.

12.2.3.5 Die Augenkammern mit Kammerwasser und Glaskörper

Durch die über die Zonulafasern aufgehängte Linse und der ihr vorne aufliegenden Iris entstehen innerhalb des Bulbus oculi zwei mit Kammerwasser gefüllte Räume (**Tab. 12.3**, vgl. auch **Abb. 12.9**, S. 244): Die vordere (**Camera anterior**) und hintere Augenkammer (**Camera posterior**) stehen über die Pupille in Verbindung. Hierüber gelangt auch das Kammerwasser, das vom Ziliarepithel in die hintere Augenkammer abgegeben wird, in die vordere Kammer, wo es im **Kammerwinkel** (Iridokornealwinkel am Rand zwischen Cornea und Iriswurzel) über **Fontana-Räume** eines Trabekelwerks und den **Schlemm-Kanal** in **intra-** und **episclerale Venen** abfließt.

Der Abfluss des Kammerwassers kann verbessert werden durch die parasympathisch innervierten inneren Augenmuskeln (M. sphincter pupillae → Miosis + Erweiterung des Kammerwinkels; Brücke-Muskel als Anteil des M. ciliaris → Erweiterung der Fontana-Räume). Die parasympathischen Fasern stammen aus dem Ggl. ciliare, wo die präganglionären Okulomotoriusfasern auf postganglionäre Fasern umgeschaltet werden (s. S. 63).

Klinischer Bezug

Glaukom („grüner Star“): Eine Abflussbehinderung des Kammerwassers im Trabekelwerk ist die häufigste Ursache für Erkrankungen, die unter dem Sammelbegriff „Glaukom“ zusammengefasst werden. Sie gehen meistens mit einer Erhöhung des Augeninnendrucks einher. Charakteristisch sind die Atrophie des Sehnervs und besondere Muster von Gesichtsfelddefekten mit drohender Erblindung. Therapeutisch können sowohl Medikamente zum Einsatz kommen, die den Abfluss des Kammerwassers verbessern (z. B. Parasympathomimetika) als auch solche, die seine Produktion hemmen.

Den Raum zwischen Linse und Netzhaut (**Camera postrema**) füllt der Glaskörper (**Corpus vitreum**) als gallertige Masse (99% Wasser, in dem Hyaluronan gelöst ist) und drückt das Stratum nervosum an das Pigmentepithel der Retina (s. u.).

12.2.4 Die Netzhaut (Retina)

Die Retina gliedert sich in zwei Anteile, deren Grenze die bis an den Ziliarkörper reichende **Ora serrata** bildet:

- Die nicht lichtempfindliche („blinde“) **Pars caeca** bedeckt die Hinterfläche der Iris und den Ziliarkörper.
- Die lichtempfindliche **Pars optica** liegt im hinteren Abschnitt des Bulbus.

Beide Anteile bestehen aus zwei Blättern, von denen sich vorwiegend die inneren unterscheiden. Für den Sehvorgang relevant sind die beiden Blätter der Pars optica, die nur an der Ora serrata und an der Sehnervenpapille miteinander verwachsen sind:

- außen: Stratum pigmentosum (Pigmentepithel) und
- innen: Stratum nervosum.

Klinischer Bezug

Netzhautablösung: Da die beiden Blätter der Retina mit Ausnahme ihrer Verbindung an der Ora serrata und der Sehnervenpapille nicht miteinander verwachsen sind, kann sich der entwicklungsgeschichtlich bedingte Spalt zwischen Stratum pigmentosum und Stratum nervosum vergrößern und zur Netzhautablösung führen. Die Patienten beschreiben oft ein plötzli-

ches Auftreten von schwarzen Punkten, Blitzen oder vorhangähnlichen Schatten vor dem betroffenen Auge. Je nach Ursache erfolgt eine konservative oder chirurgische Therapie.

Stratum pigmentosum | Die melanosomenreichen Zellen dieses einschichtigen Epithels sind untereinander durch Haftkomplexe (Blut-Retina-Schranke) und basal mit der Bruch-Membran verbunden. Sie umfassen apikal die Spitzen der im inneren Blatt gelegenen äußeren Segmente der Photorezeptorzellen und spielen für deren Funktion eine wichtige Rolle (s. u.). Zudem dient das Pigmentepithel dem Stoffaustausch und verhindert Lichtreflexionen.

Stratum nervosum | Hier liegen hintereinandergeschaltet die ersten drei Neurone der Sehbahn:

- 1. Neuron: **Photorezeptorzellen** (Sinneszellen: Stäbchen und Zapfen, s. u.)
- 2. Neuron: **bipolare Zellen** und
- 3. Neuron: **Ganglienzellen**, deren Axone sich zum N. opticus vereinigen. Man kann parvozelluläre (P-) von magnozellulären (M-)Ganglienzellen unterscheiden, die den Beginn des P- und M-Systems der Sehbahn bilden (s. S. 212).

Zudem kommen noch Interneurone (**Horizontalzellen** und **amakrine Zellen**) sowie eine Sonderform der Astrozyten (**Müller-Zellen**) vor. Durch bestimmte Anordnung und Verschaltungen der Neurone entsteht eine besondere Schichtung. Dabei liegen die Rezeptorzellen außen, sodass das einfallende Licht alle anderen Schichten durchdringen muss (inverser Aufbau der Retina). Auf die äußere Schicht der lichtempfindlichen Fortsätze folgen in definierter Reihenfolge Schichten aus Zellkörpern und Synapsen. Dabei liegen die Verschaltungen zwischen 1. und 2. Neuron in der äußeren plexiformen Schicht, die zwischen 2. und 3. Neuron in der inneren plexiformen Schicht (**Abb. 12.10**; zu Details der einzelnen Schichten s. Lehrbücher der Histologie).

MERKE

Die Retina ist durch einen inversen Aufbau (Photorezeptorzellen liegen außen) und eine definierte Schichtung gekennzeichnet.

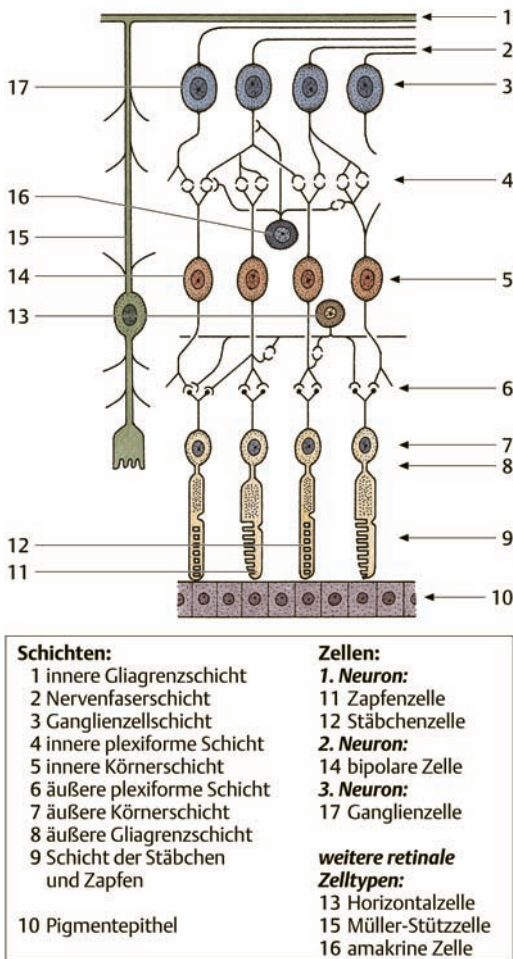


Abb. 12.10 Aufbau der Retina

In der Retina kommen zwei Typen von Photorezeptorzellen vor, die sich durch unterschiedliche Empfindlichkeit für Lichtintensitäten bzw. -wellenlängen unterscheiden:

- **Stäbchen(zellen):** ca. 120 Millionen Zellen mit hoher Lichtempfindlichkeit zur Wahrnehmung von Helligkeitsunterschieden und Schwarz-Weiß-Sehen (→ Dämmerungssehen, skotopisches Sehen)
- **Zapfen(zellen):** ca. 6 Millionen Zellen mit geringer Lichtempfindlichkeit zur Wahrnehmung von Farben (→ Sehen bei Tageslicht, photopisches Sehen). Entsprechend ihrer Empfindlichkeit für

verschiedene Wellenlängen unterscheidet man blau-, grün- und rotempfindliche Zapfen.

Beide Rezeptorzelltypen besitzen einen sensorischen Fortsatz, der aus einem Innensegment (mit metabolischer Funktion) und einem lichtempfindlichen Außensegment besteht. In Membranstapeln des Außensegments von Stäbchen ist das Sehpigment **Rhodopsin** (Retinal + Opsin der Stäbchen) eingebaut. Durch Licht wird eine Isomerisierung von 11-cis-Retinal in all-trans-Retinal induziert. Letzteres ruft eine Konformationsänderung des Opsins hervor, die schließlich eine Hyperpolarisation der Zellmembran auslöst (Transduktion von Licht in elektrische Signale). In den Zapfen, die andere Opsin-Typen besitzen, findet ein analoger Signaltransduktionsprozess statt.

Die Außensegmente werden ständig erneuert: Sie wachsen von proximal nach, während es an der Spitze zur Abschnürung von Fragmenten und deren Phagozytose durch Pigmentepithelzellen kommt. Letztere sind auch für die Regeneration des Retinals zuständig. Störungen dieser Funktionen führen zur Erblindung (Retinitis pigmentosa).

MERKE

Die Zellen des Pigmentepithels sind zwar kein Teil der Sehbahn, erfüllen jedoch für den Sehvorgang zwei wichtige Funktionen: 1. Regeneration des Retinals, 2. Phagozytose von Membranfragmenten der Photorezeptor-Außensegmente.

Die Zapfen- und Stäbchenzellen sind in verschiedenen Abschnitten der Retina unterschiedlich verteilt. Stäbchenzellen kommen fast überall vor, während die meisten Zapfenzellen in der **Macula lutea** anzu-treffen sind. Hierbei handelt es sich um ein umschriebenes kleines Areal im zentralen Teil der Retina (durch den die optische Achse verläuft). In der Mitte der Macula findet sich eine trichterförmige Vertiefung (**Fovea centralis**). Diese Einsenkung entsteht dadurch, dass die inneren Retinaschichten, d.h. v.a. die Ganglienzellen (3. Neuron), an den Trichterrand verlagert sind. An dieser Stelle muss das Licht nicht erst die übrigen Retinaschichten durchdringen (→ wenig Streuung). Im Zentrum des Trichters liegen ausschließlich schlanke Zapfen. Sie sind dicht gepackt und 1 : 1 mit den Ganglienzel-

Tabelle 12.4

Drüsen der Augenlider		
Name	Drüsenart	Lage
Meibom-Drüsen (Glandulae tarsales, ca. 30)	große Talgdrüsen	in den Tarsus eingelagert mit Mündung nahe des Lidhinterrandes (Limbus posterior palpebrae)
Zeis-Drüsen (Gll. sebaceae)	kleine Talgdrüsen	an die Follikel der Wimpern assoziiert
Moll-Drüsen (Glandulae ciliares)	apokrine Schweißdrüsen	

len verschaltet. Das bedeutet, hier in der Fovea centralis liegt die Stelle der höchsten Auflösung und damit der höchsten Sehschärfe. Mit zunehmender Entfernung vom Trichterzentrum nimmt die relative Anzahl der Zapfen ab. In der Peripherie der Macula lutea sind Stäbchen und Zapfen in gleicher Häufigkeit anzutreffen. Die marklosen Axone der Ganglienzellen konvergieren zur Sehnervenpapille (**Discus nervi optici** oder **Papilla nervi optici**), dem Beginn des N. opticus (II). An der Sehnervenpapille, die nasal der gefäßfreien Macula lutea liegt, fehlen Rezeptorzellen (→ **blinder Fleck**).

Die Sehnervenaxone verlassen den Bulbus durch die hier siebartige Sclera (Lamina cribrosa) und werden von den Vasa centralis retinae begleitet. Nach Durchtritt der Lamina cribrosa erhalten sie eine Myelinscheide von Oligodendrozyten (zentrales Myelin). Der N. opticus wird hier dann wie das Gehirn von Dura mater, die in die Sclera übergeht, Arachnoidea und Pia mater umhüllt.

Klinischer Bezug

Ophthalmoskopie (Fundoskopie): Bei Betrachtung des Augenhintergrunds (Fundus oculi) mit Hilfe eines Ophthalmoskops („Augenspiegel“) erkennt man die helle, im Normalfall scharf abgegrenzte Sehnervenpapille. Von ihrer Mitte aus verzweigen sich Äste der A. und V. centralis retinae, lassen jedoch die temporal der Papille gelegene Macula lutea frei. Gefäße der Aderhaut dagegen sind nicht sichtbar. Im Rahmen dieser Untersuchung lassen sich Schäden an Gefäßen (z. B. bei diabetischer Retinopathie oder infolge langjähriger arterieller Hypertonie) sowie auch z. B. Zeichen erhöhten Hirndrucks (→ Stauungspapille) direkt erkennen.

MERKE

Die Macula lutea ist gefäßfrei und liegt temporal der Sehnervenpapille.

12.2.5 Die Hilfseinrichtungen des Auges

12.2.5.1 Die Augenlider (Palpebrae) und die Bindehaut (Tunica conjunctiva)

Die **Augenlider** schützen den Bulbus vor Verletzungen und sie verteilen die Tränenflüssigkeit. Die Form und die Festigkeit der Lider beruhen auf deren bindegewebigen Platten (**Tarsi superior und inferior**), die das Lidgerüst darstellen und über Bänder an den Orbitaländern befestigt sind. Diese Bänder dienen gleichzeitig dem Ursprung des M. orbicularis oculi, der zur mimischen Muskulatur zählt (Innervation: N. facialis) und den Lidschluss bewirkt. Nach hinten steht der Tarsus superior mit der Aponeurose des quergestreiften M. levator palpebrae superioris (Lidheber) in Verbindung. Die glattmuskulären und sympathisch innervierten **Mm. tarsales superiores und inferiores** strahlen ebenfalls in den Hinterrand der Tarsi ein (→ Regulation der Lidspaltenweite).

Das Lid enthält Drüsen (**Tab. 12.4**), die auch an der Bildung des Tränenfilms beteiligt sind.

Die Wimpern (**Cilia**) sind entlang des vorderen Lidrandes (Limbus anterior palpebrae) in mehreren Reihen dicht gepackt.

Am Lidrand geht die äußere Haut in die **Bindehaut** über, die sowohl die Innenfläche des Augenlids als auch die vorderen Teile der Sclera bedeckt. Am oberen und unteren Übergang vom Lid zum Bulbus finden sich die Fornices conjunctivae superior und inferior mit Reservefalten für die Beweglichkeit des Bulbus.

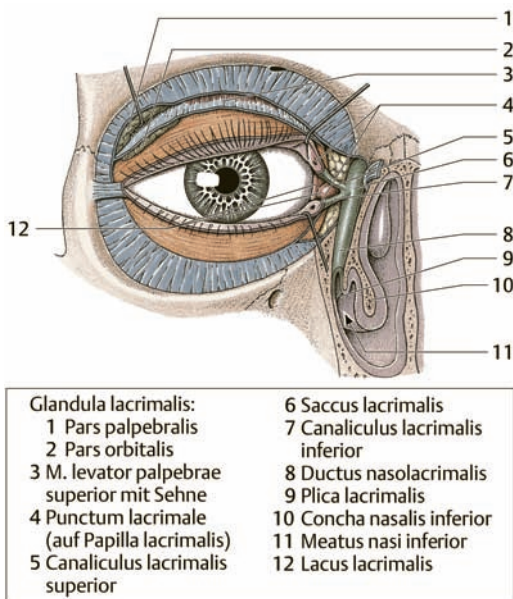


Abb. 12.11 Tränenapparat des rechten Auges

Klinischer Bezug

Konjunktivitis: Die Bindehautentzündung ist eine der häufigsten Augenerkrankungen, die sich durch Rötung, Lidschwellung, Verklebung der Augenlider am Morgen, Fremdkörpergefühl, Juckreiz und vermehrtes Tränen äußert. Je nach Ursache (bakteriell, viral, allergisch, toxisch durch äußere Reize wie z. B. Rauch) kommen therapeutisch unterschiedliche Medikamente zum Einsatz.

12.2.5.2 Der Tränenapparat

Die Tränendrüse (**Glandula lacrimalis**, Innervation s. S. 63) liegt unter dem oberen lateralen Rand der knöchernen Augenhöhle. Sie wird durch die aponeurotische Sehne des M. levator palpebrae superioris zweigeteilt. Ihr Sekret fließt über Ausführungsgänge in den **oberen Fornix conjunctivae** (oberer Bindehautsack) ab. Es dient der Reinigung von Horn- und Bindehaut, schützt vor Austrocknung, gleicht Oberflächenunebenheiten aus und bildet den größten Anteil des Tränenfilms. Letzterer ist dreischichtig, da er neben dem wässrigen Sekret der Tränendrüse noch eine Lipidschicht (aus

Meibom-Drüsen) und eine Muzinschicht (aus Becherzellen der Bindehaut) enthält.

Durch den Lidschlag gelangt die Tränenflüssigkeit von lateral nach medial in Richtung der ableitenden Tränenwege. Die Flüssigkeit sammelt sich im Tränensee (**Lacus lacrimalis**, Raum im medialen Augenwinkel). Dort liegen auf kegelartigen Erhebungen (**Papillae lacrimales**) an der inneren Kante des Ober- und des Unterlides die **Puncta lacrimalia**. An ihnen beginnen die beiden Tränenkanälchen (**Canaliculi lacrimales**) und verlaufen zum **Saccus lacrimalis** (Tränensack). Seine Wandung ist u. a. mit dem Periost des Os lacrimale verwachsen, sodass sein Lumen stets geöffnet bleibt.

Der Saccus lacrimalis setzt sich in den **Ductus nasolacrimalis** (Tränennasengang) fort, der im unteren Nasengang (**Meatus nasalis inferior**) mündet. Dort findet sich eine Schleimhautfalte (**Plica lacrimalis**, Hasner), die wie ein Ventil verhindert, dass Luft in den Tränennasengang hineingepresst werden kann.

12.2.5.3 Die äußeren Augenmuskeln (Mm. externi bulbi oculi)

Es werden 4 gerade (Mm. recti) und 2 schräge (Mm. obliqui) äußere Augenmuskeln unterschieden, durch deren Zusammenspiel der Bulbus oculi in alle Richtungen bewegt werden kann. Bis auf eine Ausnahme (M. obliquus inferior) entspringen sie gemeinsam an einem sehnigen Ring (**Anulus tendineus communis**) um den Canalis opticus (Abb. 12.12b). Von hier aus laufen sie divergierend und bilden einen Muskeltrichter.

- **Gerade Augenmuskeln** (M. rectus superior, M. rectus inferior, M. rectus medialis und M. rectus lateralis): Ihre Endsehnen strahlen in die Sclera vor dem Bulbusäquator in unterschiedlicher Entfernung vom Hornhautrand ein. Die gerade Augenmuskeln werden fast alle vom N. oculomotorius (III) innerviert. Lediglich die Innervation des M. rectus lateralis, der den Bulbus abduziert, erfolgt über den nach seiner Funktion benannten N. abducens (VI).
- **Schräge Augenmuskeln** (M. obliquus superior und M. obliquus inferior): Sie setzen an der lateralen Bulbushälfte *hinter* dem Äquator an (oben: M. obliquus superior, unten: M. obliquus inferior). Während der **M. obliquus inferior** von der

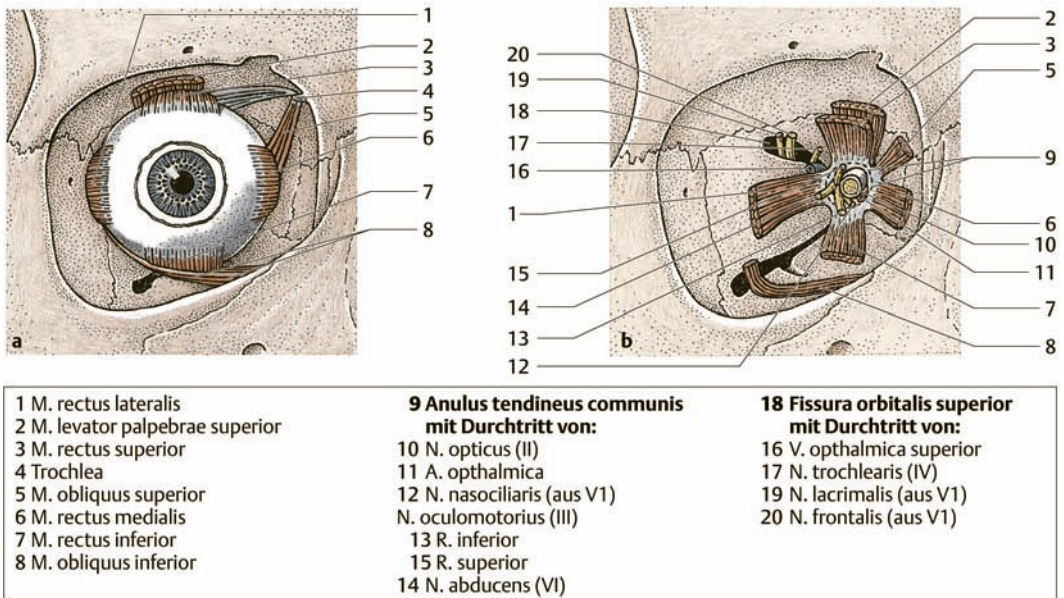


Abb. 12.12 Äußere Augenmuskeln mit Anulus tendineus

a Rechter Bulbus oculi mit Muskelansätzen in der Ansicht von ventral

b Ursprünge der Augenmuskeln und Durchtritt von Strukturen durch den Anulus tendineus sowie neben ihm durch die Fissura orbitalis superior

medialen Orbitawand entspringt und direkt nach dorsal zieht, zeigt der **M. obliquus superior** einen besonderen Verlauf: Von dorsal kommend zieht er zunächst nach ventral bis zur Trochlea, einem knorpelig-sehnigen Ring am medialen Augenwinkel, wo seine Endsehne spitzwinklig wieder nach dorsal umbiegt. Anhand dieses Verlaufs durch die als Hypomochlion wirkende Trochlea kann man sich die Innervation des M. obliquus superior durch den N. trochlearis (IV) merken. Der M. obliquus inferior dagegen wird – wie die meisten geraden Augenmuskeln – durch den N. oculomotorius innerviert.



Wenn Sie sich für jeden der äußeren Augenmuskeln klarmachen, aus welcher Richtung er jeweils Zug auf seine Ansatzstelle am Bulbus ausübt, ist es leichter, sich die verschiedenen Funktionen zu merken.

Achsen bewegt werden. Dabei üben der M. rectus medialis und der M. rectus lateralis jeweils lediglich nur eine Hauptfunktion aus, die übrigen Muskeln zusätzlich noch Nebenfunktionen (**Tab. 12.5**), sodass sie kombinierte Bewegungen ausführen.

MERKE

Neben ihrer rotatorischen Komponente haben die beiden schrägen Augenmuskeln durch ihren Ansatz dorsal des Bulbusäquators eine ihrem lagebedingten Namen entgegengesetzte Wirkung: Der M. obliquus superior senkt den Blick, der M. obliquus inferior hebt den Blick. Zusätzlich wirken sie beide abduzierend (→ Blickbewegung nach lateral). Dagegen bewirken sowohl der M. rectus superior als auch der M. rectus inferior u. a. eine Adduktion (→ Blickwendung nach medial). Die seitlichen geraden Augenmuskeln führen keine Kombinationsbewegungen aus, sondern ziehen den Bulbus in der Horizontalen nach medial oder lateral.

Durch die schnellen und feinen Bewegungen der äußeren Augenmuskeln kann der Bulbus um drei

Tabelle 12.5

Bulbusbewegungen durch äußere Augenmuskeln						
Bewegung	um vertikale Achse:		um transversale Achse:		um sagittale Achse:	
Muskel	Abduktion	Adduktion	Elevation*	Depression**	Innenrotation	Außenrotation
M. rectus lateralis	+					
M. rectus medialis		+				
M. rectus superior		+	+		+	
M. rectus inferior		+		+		+
M. obliquus superior	+			+	+	
M. obliquus inferior	+		+			+
+= Hauptfunktion; + = Nebenfunktion						
* Blick nach oben; ** Blick nach unten						

Tabelle 12.6

Öffnungen der Orbita mit durchtretenden Strukturen			
Öffnung	Lage	Verbindung zu	durchtretende Strukturen
Canalis opticus	an der Wurzel der Ala minor des Os sphenoidale	mittlerer Schädelgrube	– N. opticus – A. ophthalmica
Fissura orbitalis superior	zwischen Ala minor und Ala major des Os sphenoidale	mittlerer Schädelgrube	– N. oculomotorius (III) – N. trochlearis (IV) – N. abducens (VI) – N. ophthalmicus (V ₁) – V. ophthalmica superior
Fissura orbitalis inferior	zwischen Maxilla und Ala major	Fossa pterygopalatina	– Äste des N. maxillaris (V ₂): N. zygomaticus* und N. infraorbitalis* – A. infraorbitalis – V. ophthalmica inferior
Canalis nasolacrimalis	zwischen Maxilla und Os lacrimale	Nasenhöhle (unterhalb der unteren Nasenmuschel)	– Ductus nasolacrimalis
*verlassen die Orbita über kleinere Öffnungen wieder und ziehen zum Gesicht			

12.2.6 Die Orbita (Augenhöhle) mit Leitungsbahnen

Die Orbita ist ein knöcherner, pyramidenförmiger Raum, in dem der Bulbus oculi von einer derben, bindegewebigen Kapsel (**Tenon-Kapsel**), den äußeren Augenmuskeln und einem Fettgewebskörper (Corpus adiposum orbitae) umgeben wird. Weiterhin finden sich hier die Glandula lacrimalis und zahlreiche Leitungsbahnen. Neben der großen vorderen Öffnung (Aditus orbitalis) zum Gesicht bestehen weitere Verbindungen über Löcher und Kanäle in den wandbildenden Knochen (s. Lehrbücher der makroskopischen Anatomie). Strukturen, die für das Auge und seine Hilfseinrichtungen von Bedeutung sind, treten durch die in **Tab. 12.6** aufgeführten Öffnungen.

Die durch die Öffnungen der Orbita tretenden Leitungsbahnen versorgen das Sehorgan sowie z.T. weitere Strukturen im Kopfbereich. Die einzelnen Nerven sind bereits in Kapitel 3 (ab S. 58) beschrieben. Die Arterien stammen alle aus der A. ophthalmica, die als Ast der A. carotis interna zusammen mit dem N. opticus in die Orbita tritt und zum medialen Augenwinkel läuft. Ihr meist erster Ast ist die **A. centralis retinae**, die kurz nach Eintritt in die Orbita in den N. opticus zieht und in ihm die Netzhaut erreicht. Gemeinsam mit anderen Leitungsbahnen treten sie durch den Anulus tendineus, der den meisten Augenmuskeln als Ursprung dient.

MERKE

Durch den Anulus tendineus treten (Abb. 12.12b, s. S. 251): N. opticus mit der in ihm verlaufenden A. centralis retinae, A. ophthalmica, N. oculomotorius (III), N. nasociliaris (aus V₁) sowie N. abducens (VI).

Das Versorgungsgebiet der A. centralis retinae reicht bis zur Ora serrata, d.h. nur die Pars optica retinae erhält über dieses Gefäß Blut. Die Pars caeca hingegen wird – wie alle anderen Bulbusschichten mit Ausnahme der über das Kammerwasser ernährten Strukturen (Hornhaut und Linse) – vom choroidalen Gefäßnetz versorgt.

Gespeist wird das **choroidale Gefäßnetz** aus Ästen, die ebenfalls der A. ophthalmica entstammen. Dabei versorgen die dorsal durch die Sclera tretenden **Aa. ciliares posteriores breves** eher den hinteren Bereich der Choroidea, wohingegen die **Aa. ciliares posteriores longae** zwischen Sclera und Choroidea nach ventral zum Ziliarkörper und zur Iris ziehen, wo sie Gefäßkränze bilden (Circulus arteriosus iridis major und minor). Die **Aa. ciliares anteriores** entstammen den Muskelästen der A. ophthalmica (zu äußerem Augenmuskeln) und versorgen neben dem Ziliarkörper auch Bindehaut und Sclera.

Weitere Äste der A. ophthalmica ziehen zur Tränenrüse und zu den Augenlidern und beteiligen sich an der Versorgung von Nasenhöhle, Siebbeinzellen sowie Gesichtshaut und -muskulatur.

**Check-up**

- ✓ Wiederholen Sie Aufbau und Funktion des Ziliarkörpers.
- ✓ Überlegen Sie, wo die Bruch-Membran liegt und welche Funktionen sie hat.
- ✓ Rekapitulieren Sie die Begrenzungen der Augenkammern.
- ✓ Überlegen Sie sich, welche Zellkörper in der Fovea centralis am zahlreichsten sind.
- ✓ Machen Sie sich anhand von Abb. 12.10 noch einmal klar, wo die Synapsen der Fotorezeptorzellen in der Retina liegen.
- ✓ Verfolgen Sie gedanklich den „Weg“ der Tränenflüssigkeit von ihrem Sekretionsort bis zum Abfluss über die Nase und benennen Sie die dabei passierten Strukturen in der richtigen Reihenfolge.

- ✓ Wiederholen Sie, welche Muskeln vom N. oculomotorius innerviert werden. Bedenken Sie dabei nicht nur die äußeren, sondern auch die inneren Augenmuskeln.
- ✓ Rekapitulieren Sie, aus welcher Arterie die A. centralis retinae stammt und wo sie verläuft.

12.3 Das Geruchs- und das Geschmacksorgan

**Lerncoach**

Dieses kurze Thema wird eher selten geprüft. Wichtiger ist die Weiterleitung der Geschmacksinformation, die Sie sich in diesem Zusammenhang noch einmal vergegenwärtigen und ggf. auf S. 220 nachschlagen können.

12.3.1 Das Geruchsorgan

Die Riechschleimhaut (Regio olfactoria, aus Riechepithel und Lamina propria) liegt (als beim Menschen relativ kleines Areal) an der oberen Nasenmuschel (Concha nasalis superior) und am dieser Muschel gegenüber liegenden Areal des Nasenseptums. Das mehrreihige Riechepithel besteht aus **Riech-, Stütz- und Basalzellen**. Die Riechzellen sind primäre Sinneszellen: Der dendritische Fortsatz der bipolaren Nervenzellen ist am Ende zu einem Kolben verdickt, von dem mehrere lange Zilien ausgehen. Letztere liegen parallel zur Epitheloberfläche im Riechschleim (s. u.). Ihre Membran enthält die Rezeptorproteine für die Geruchsstoffe. Der basale Fortsatz der Sinneszellen ist das Axon, das in die Lamina propria eintritt. Hier bildet die Gesamtheit der Axone den N. olfactorius (S. 219).

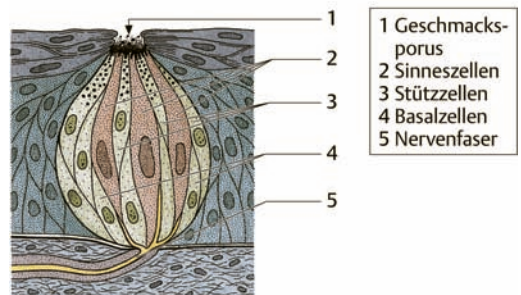


Abb. 12.13 Aufbau einer Geschmacksknospe

Die Riechzellen können wohl einige Wochen alt werden und werden dann durch Teilung der Basalzellen (= Stammzellen) ersetzt; d.h. olfaktorische Neurone werden hier auch im Erwachsenenalter regelmäßig regeneriert!

In der Lamina propria unter dem Riechepithel liegen die Bowman-Drüsen (**Glandulae olfactoriae**). Ihr Schleim liegt auf dem Riechepithel und enthält auch spezielle Proteine, die Geruchsstoffe binden (Odorant binding proteins = OBPs).

12.3.2 Das Geschmacksorgan

Die verschiedenen Geschmacksqualitäten (s.u.) werden durch Sinneszellen der Geschmacksknospen wahrgenommen. Neben einer geringen Anzahl von Geschmacksknospen am weichen Gaumen, an der Rachenhinterwand und der Kehldeckelrückseite, finden sie sich beim Menschen vorwiegend auf der Zunge in:

- **Papillae vallatae** (Wallpapillen) entlang des Sulcus terminalis,
- **Papillae foliatae** (Blattpapillen) und
- **Papillae fungiformes** (Pilzpapillen).

Die meist hell erscheinenden ovalen Geschmacksknospen liegen im mehrschichtigen Epithel und besitzen an der Epitheloberfläche eine grubchenförmige Öffnung (**Porus gustatorius**). Sie bestehen aus verschiedenen Zellen: **Geschmacks-, Stütz- und Basalzellen**. Die langgestreckten **Geschmackszellen** ragen mit langen Mikrovilli in den Porus gustatorius hinein. Die Membran der Mikrovilli ist die Rezeptoroberfläche für Geschmacksstoffe. Von basal treten Fasern der Hirnnerven VII, IX und X (s.S. 220) an die Geschmacksknospe und bilden mit den Geschmackszellen (= sekundäre Sinneszellen) synaptische Kontakte.

Die Geschmackszellen, zwischen denen **Stütz- und Basalzellen** liegen, haben eine Lebensdauer von nur 8–10 Tagen. Aus den **Basalzellen** (= Stammzellen) entstehen ständig neue Geschmackszellen.

Bei den Geschmacksqualitäten unterscheidet man: süß (Zungenspitze), sauer und salzig (Seitenränder der Zunge), bitter (Zungenwurzel am Sulcus terminalis) und Umami (hervorgerufen durch Glutamat; nicht lokalisiert).



Check-up



Wiederholen Sie die Ausdehnung des Riechepithels in der Nase.

12.4 Die Rezeptoren in der Haut und im Bewegungsapparat



Lerncoach

Legen Sie den Schwerpunkt in diesem Kapitel auf das Lernen der Rezeptororgane mit ihrer jeweiligen Funktion und Lage in der Haut; dazu werden des Öfteren Fragen gestellt.

12.4.1 Die Hautrezeptoren

Die **Haut (Cutis)**, die als flächenmäßig größtes Sinnesorgan anzusehen ist, besteht aus zwei Schichten:

- der epithelialen Epidermis (Oberhaut) und
- der bindegewebigen Dermis (Corium = Lederhaut mit Stratum papillare und Stratum reticulare).

Das Corium geht ohne scharfe Grenze in die Subcutis (Tela subcutanea) über. Letztere ist reich an Fettgewebe und stellt die Verbindung zwischen Cutis und Muskelfaszien bzw. Periost her.

In der reich innervierten Haut liegen zum einen so genannte **freie Nervenendigungen**, d.h. Axone ohne erkennbare morphologische Spezialisierung, die beim Eintritt in die Dermis bzw. Epidermis die Myelinscheide verlieren und bis nahe an die epitheliale Oberfläche reichen können.

Es lassen sich entsprechend ihrer Funktion drei Typen unterscheiden:

- **Mechanorezeptoren**
- **Nozizeptoren**
- **Thermorezeptoren**.

Daneben gibt es **speziell gebaute Mechanorezeptoren** zur Registrierung unterschiedlicher mechanischer Reize und Übertragung auf Axone. Diese Gebilde aus neuronalen und nicht neuronalen Anteilen (Aufbau s. Lehrbücher der Histologie) werden auch Endkörperchen oder Rezeptororgane genannt. Sie liegen in definierten Schichten der Haut (**Tab. 12.7**).

In der behaarten Haut kommen Rezeptoren vor, die den in **Tab. 12.7** genannten ähneln: Durch Auslen-

Tabelle 12.7

Rezeptororgane (Endkörperchen) der Haut		
Rezeptor	Lage in der Haut	Funktion
Merkel-Zellen	Stratum basale der Epidermis	zeitlich hochauflösende Registrierung von <i>Druck</i> und <i>Druckänderungen</i>
Meißner-Tastkörperchen	Stratum papillare der Dermis (besonders zahlreich an den Fingerbeeren)	Registrierung von <i>Berührungen</i> (Geschwindigkeit von Reizänderungen)
Ruffini-Körperchen*	Stratum reticulare der Dermis	Registrierung von <i>stärkerem Druck</i> (bei <i>Dehnung</i> mit Auftreten von Scherkräften)
Vater-Pacini-Körperchen**	Stratum reticulare der Dermis Subcutis	Registrierung von ständig wechselnden <i>Beschleunigungen</i> (bei <i>Vibration</i>)

* auch in Gelenkkapseln
** u. a. auch im Periost, im periartikulären Bindegewebe, im Peritoneum und in der Pleura

kung eines Haares kann z.B. über Haarfollikelrezeptoren Berührung wahrgenommen werden.

12.4.2 Die Rezeptoren des Bewegungsapparats

Die Mechanorezeptoren des Bewegungsapparats dienen der Registrierung von Informationen über die Stellung und die Bewegung von Rumpf und Extremitäten (Propriozeption).

Spezielle Propriozeptoren sind die Muskelspindeln und die Golgi-Sehnenorgane, andere Mechanorezeptoren, wie z. B. Ruffini- und Vater-Pacini-Körperchen kommen auch als Exterozeptoren in der Haut vor.

12.4.2.1 Die Muskelspindeln

Die Muskelspindeln registrieren als Dehnungsrezeptoren die Muskellänge. Jede einzelne Muskelspindel (ca. 8 mm lang und ca. 0,2 mm breit) besteht aus einer Perineuralkapsel, deren Enden im Perimysium des Muskels verankert sind sowie aus dünnen intrafusalen Muskelfasern. Letztere verlaufen parallel zu den extrafusalen Fasern der Arbeitsmuskulatur. Die Kerne der intrafusalen Fasern liegen im mittleren Abschnitt (= Äquatorregion) entweder

- haufenförmig angeordnet (**Kernsackfasern**) oder
- in einer Kette aufgereiht (**Kernkettenfasern**).

Nur in ihren Endbereichen besitzen die intrafusalen Fasern Myofibrillen.

In der Äquatorregion treten efferente und afferente Nervenfasern in die Muskelspindel ein bzw. aus:

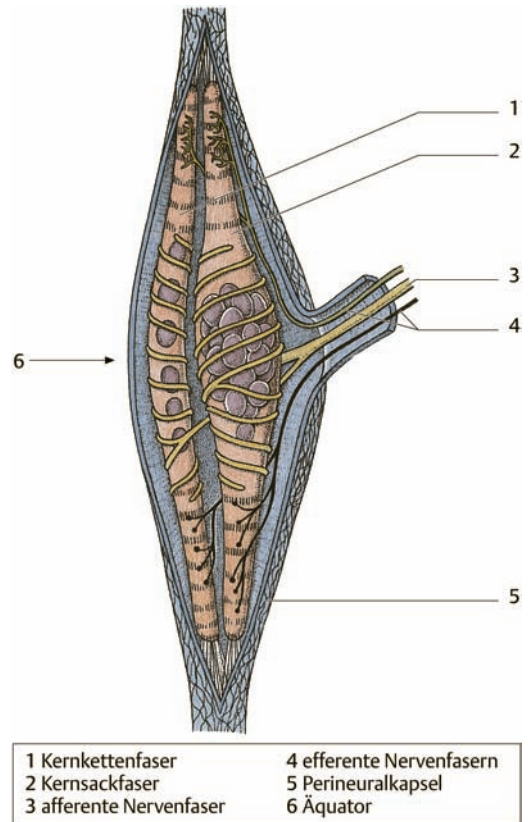


Abb. 12.14 Aufbau einer Muskelspindel

- Die **efferenten Fasern** ziehen zu den myofibrillenhaltigen Endabschnitten der intrafusalen Fasern. Sie können die Länge der intrafusalen Fasern an die der extrafusalen anpassen. Außerdem können sie über eine Vordehnung der intrafusalen Muskelfasern deren Empfindlichkeit erhöhen.
- Bei den **afferenten Fasern** umfassen die primären spiralig die einzelnen Muskelfasern (Kernsack- und Kernkettenfasern) der Äquatorregion. Die Dehnung des Äquators ist der adäquate Reiz für die afferenten Fasern.

MERKE

Die Muskelspindeln gehören zu den wenigen Rezeptororganen, die auch efferent innerviert werden. Die efferente Innervation ist über die Regulation der Muskelvorspannung maßgeblich an der Abstimmung feiner Bewegungen beteiligt.

12.4.2.2 Die Golgi-Sehnenorgane

Diese Mechanorezeptoren, die auch Sehnen-spindeln genannt werden, treten am Übergang von Skelettmuskulatur zu Sehnen auf und registrieren die Spannung des zugehörigen Skelettmuskels.

Sie bestehen aus einer Perineuralscheide und Sehnenfaserbündeln, zwischen denen sich Nervenfasern verzweigen.

Ein durch Muskelkontraktion oder -dehnung bewirkter Zug an der Sehne (adäquater Reiz) führt zu einer Kompression der Axonendigungen.

**Check-up**

- ✓ Überlegen Sie sich, welche Strukturen Schmerz- und Temperaturempfindung vermitteln.
- ✓ Machen Sie sich nochmals die Bestandteile einer Muskelspindel klar.

Kapitel

13



Anhang

13 Anhang

Im Folgenden finden Sie eine Zusammenstellung von Abbildungen, die Sie während und/oder im Anschluss an die Lektüre dieses Kurzlehrbuchs nutzen können:

- Die **Schnittserien durch das Gehirn** ermöglichen Ihnen eine bessere Vorstellung der Lage einzelner Strukturen und machen Sie mit der Darstellung vertraut, die Sie später bei der Interpretation von radiologischen Befunden benötigen. Auch für Ihre Prüfungen ist das Erkennen und

Benennen wichtiger neuroanatomischer Strukturen an Hirnschnitten relevant.

- Die **Schemata zur Verschaltung einiger neuroanatomischer Strukturen** dienen insbesondere der Wiederholung von funktionellen Aspekten der aufgeführten Strukturen, die Sie anhand ihrer Projektionen (Afferenzen und Efferenzen) noch einmal rekapitulieren können.

13.1 Schnittbilder

13.1.1 Frontalschnitte

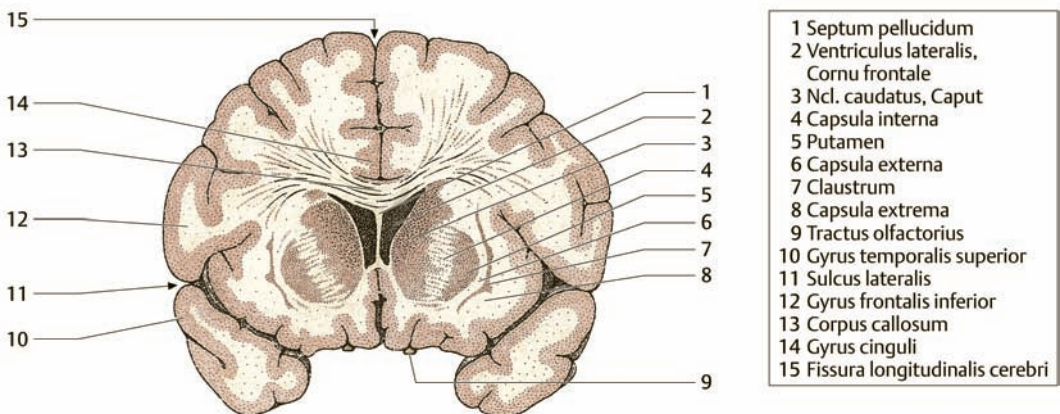


Abb. 13.1 Frontalschnitt vor dem Chiasma opticum

Als prominente Verbindung beider Hemisphären ist der Balken (Corpus callosum) zu erkennen, über dem der Gyrus cinguli liegt. Unterhalb des Balkens sieht man als einzige Strukturen des Ventrikelsystems das jeweilige Vorderhorn (Cornu frontale) der beiden Seitenventrikel, die durch das Septum pellucidum getrennt sind (der dritte Ventrikel ist aufgrund der rostralen Schnittebene nicht getroffen). In der Wand der Seitenventrikel liegt der dicke Kopfteil des Nucleus caudatus, von dem das lateral liegende Putamen nur durch wenige Fasern der Capsula interna getrennt ist (→ Striatum). An das Putamen grenzt die Capsula externa, nach lateral folgen das Clastrum und die Capsula extrema. Letztere findet sich unter der Inselrinde, die wiederum in der Tiefe des Sulcus lateralis (zwischen Gyrus frontalis inferior und Gyrus temporalis superior) liegt. Basal sind die Tractus olfactorii mit angeschnitten.

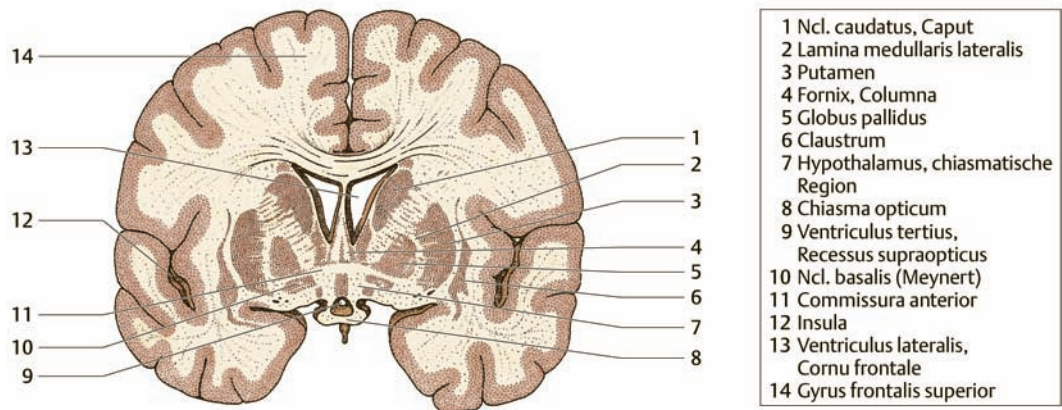


Abb. 13.2 Frontalschnitt durch das Chiasma opticum
Hier ist der dritte Ventrikel bereits mit angeschnitten. Der Globus pallidus ist hinzugekommen, der Nucleus caudatus erscheint in dieser Ebene kleiner. Beachte die Commissura anterior (s. S. 161).

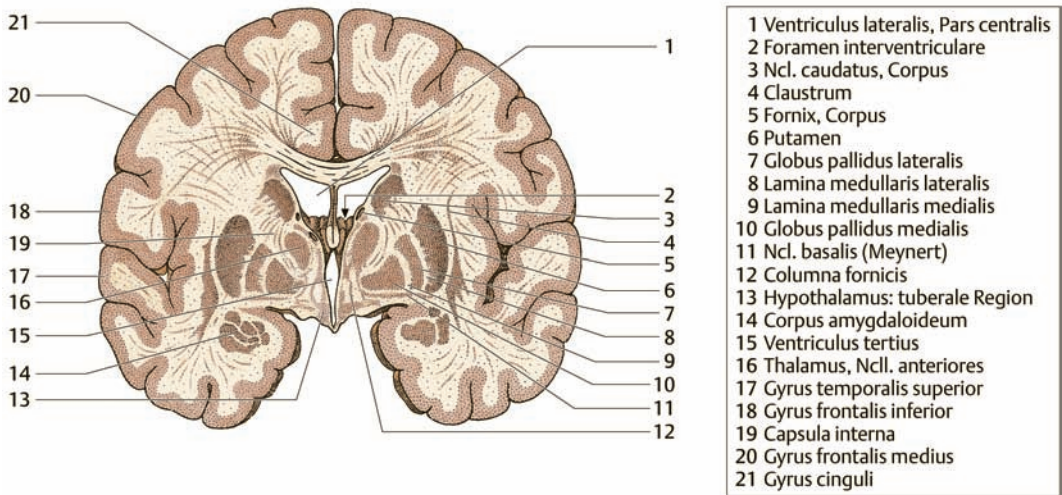


Abb. 13.3 Frontalschnitt durch das Corpus amygdaloideum
Das Corpus amygdaloideum ist im frontalen Ende des Temporallappens vor dem Unterhorn des Seitenventrikels sichtbar. Vom Globus pallidus erkennt man beide Anteile (Pars lateralis und Pars medialis) mit der dazwischenliegenden Lamina medullaris medialis. In dieser Ebene, in der das Foramen interventriculare als Verbindung zwischen dem jeweiligen Seitenventrikel und dem dritten Ventrikel liegt, sind sowohl der Corpus als auch die Columnae fornicis angeschnitten. Der Hypothalamus ist in der tuberalen Region getroffen.

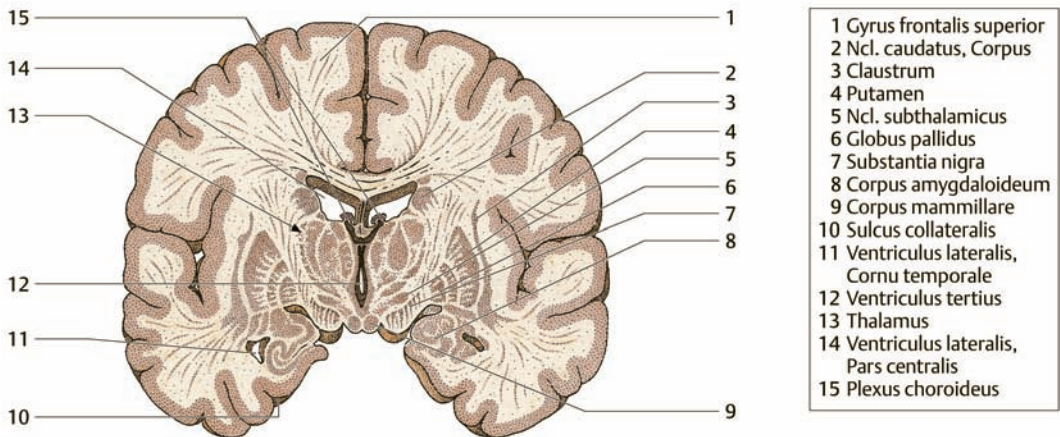


Abb. 13.4 Frontalschnitt durch die Corpora mamillaria

Lateral des Corpus mamillare ist deutlich die Substantia nigra zu erkennen. Der Thalamus zeigt sich größer als auf den vorherigen Schnitten und erstmals ist das Unterhorn (Cornu temporale) der Seitenventrikel angeschnitten.

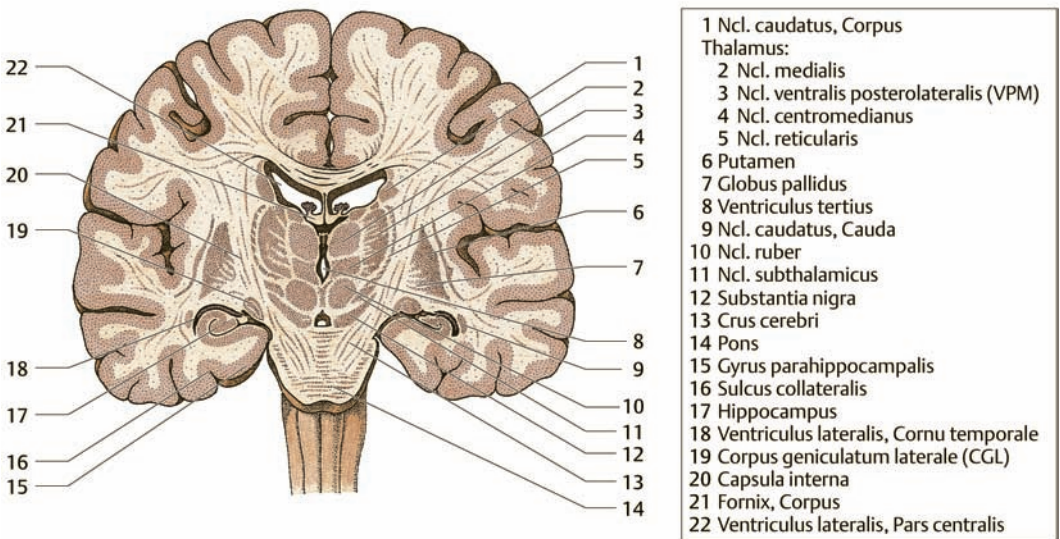


Abb. 13.5 Frontalschnitt durch den Hirnstamm

Beachte die Lage von Mittelhirnstrukturen (Ncl. ruber, Substantia nigra und Crus cerebri); darunter der Pons. Putamen und Globus pallidus wirken kleiner und nach lateral „verdrängt“; vom Corpus des Ncl. caudatus, der jetzt weit entfernt vom Putamen liegt, ist ebenfalls ein kleinerer Durchmesser getroffen. Der Hippocampus liegt am Unterhorn (Cornu temporale) des Seitenventrikels, darunter der Gyrus parahippocampalis. Der prominente Anschnitt des Thalamus erlaubt die Unterscheidung einzelner Kerne.

13.1.2 Horizontalschnitte

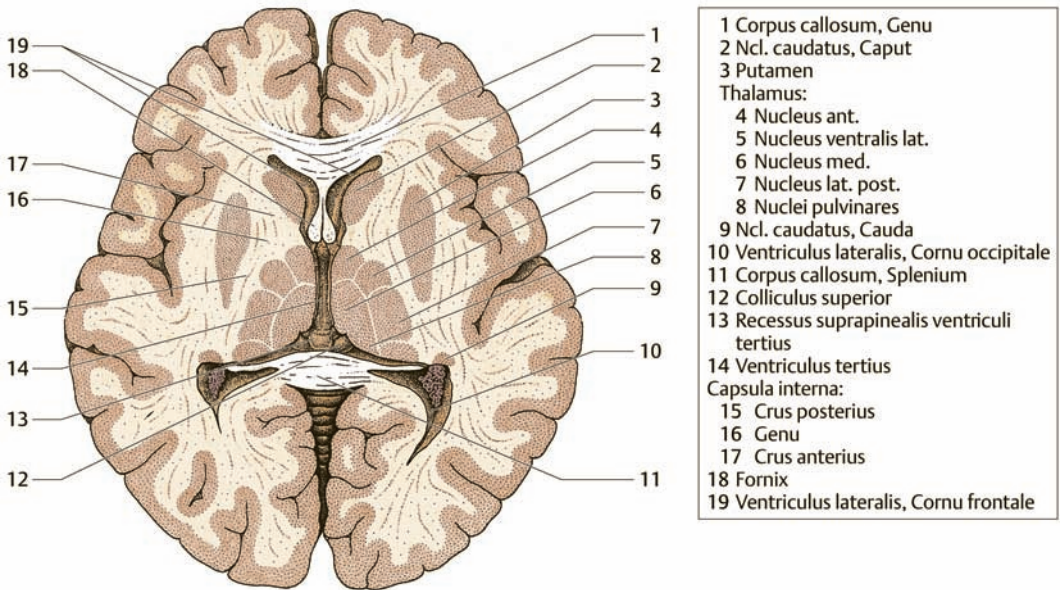


Abb. 13.6 Horizontalschnitt durch Fornix und Thalamus

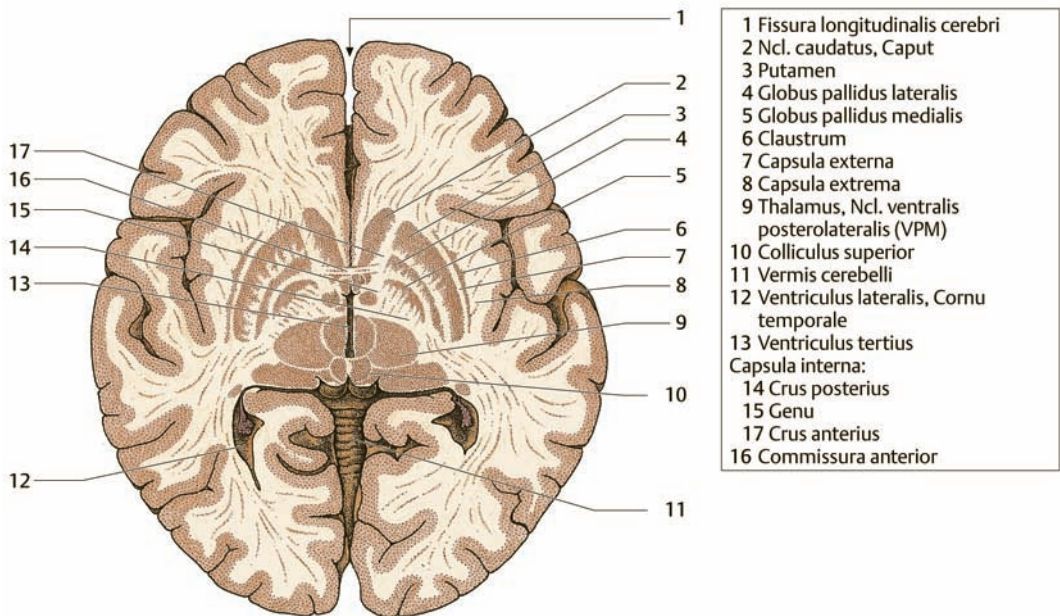


Abb. 13.7 Horizontalschnitt durch Thalamus und Striatum

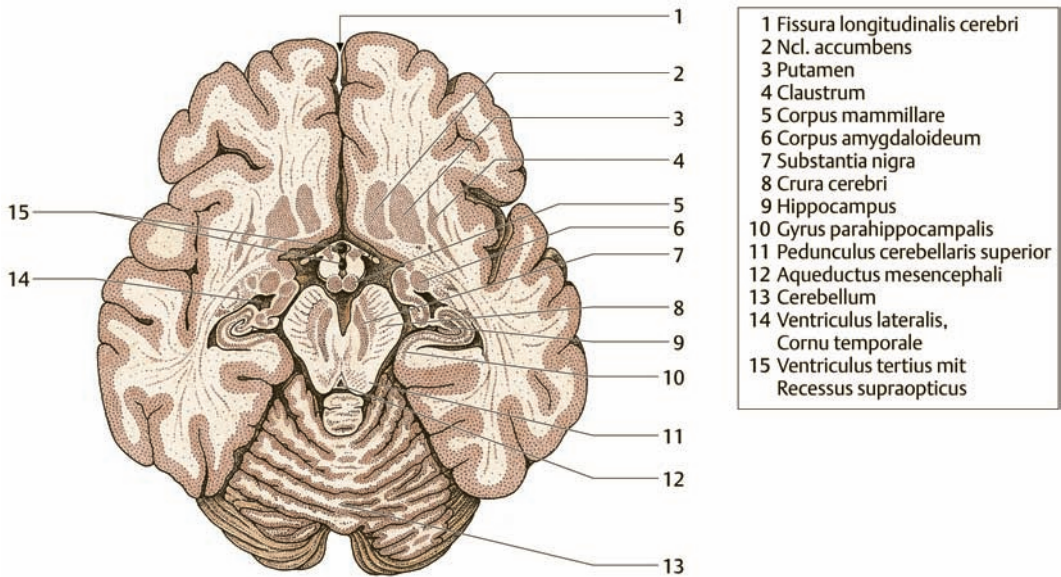


Abb. 13.8 Horizontalschnitt durch die Pedunculi cerebri kaudal der Vierhügelplatte

13.1.3 Sagittalschnitte

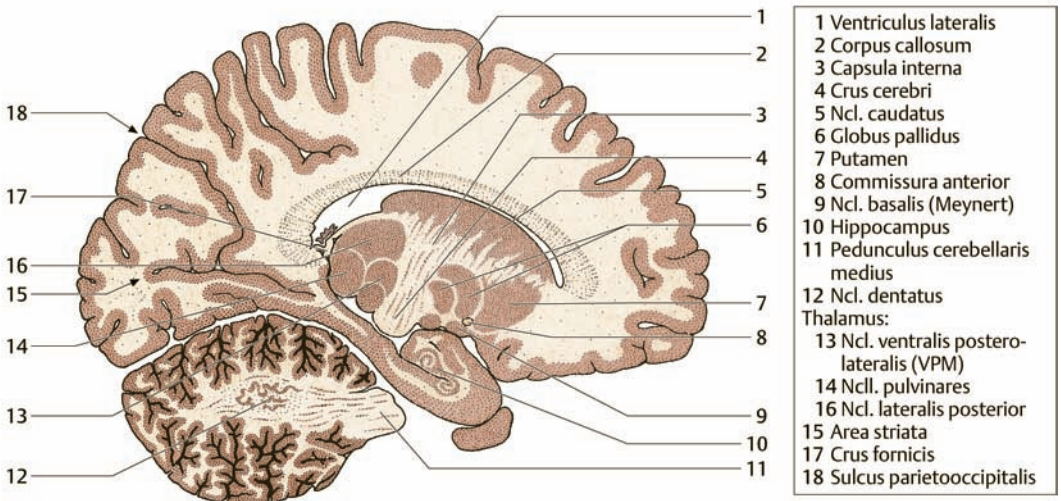


Abb. 13.9 Sagittalschnitt durch Fornix, Nucleus ruber, Vierhügelplatte und oberen Kleinhirnstiel

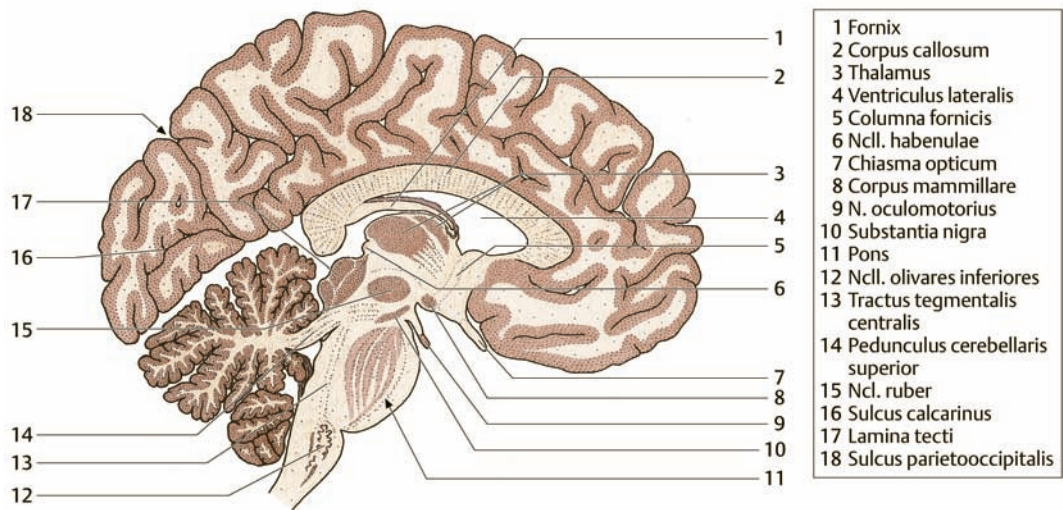


Abb. 13.10 Sagittalschnitt durch Nucleus caudatus und Thalamus

13.2 Verschaltungen

13.2.1 Verschaltungen im motorischen System

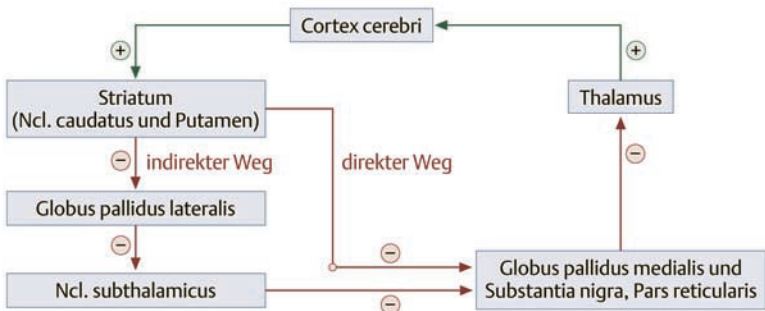


Abb. 13.11 Verschaltung der Basalganglien (s. a. S. 201)

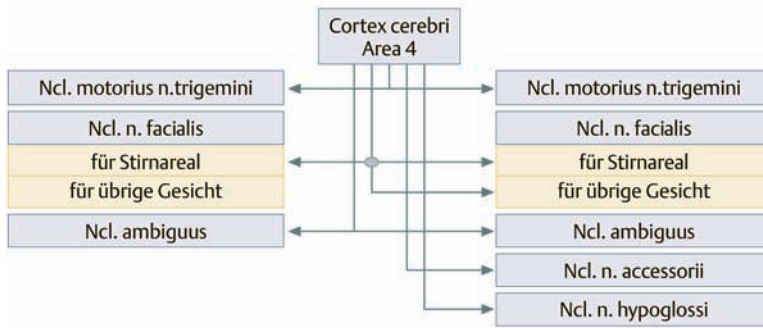


Abb. 13.12 Fibræ corticonucleares (ohne Hirnnervenkerne der Okulomotorik), s. a. S. 200

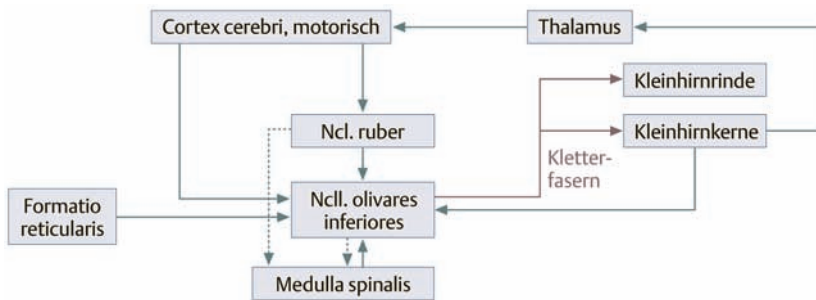


Abb. 13.13 Verschaltungen der Nuclei olivares inferiores und des Nucleus ruber (s. a. S. 96 und S. 101)

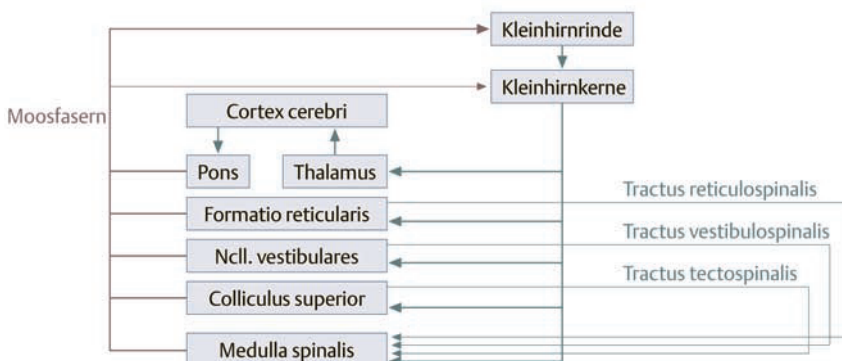


Abb. 13.14 Moosfasersystem des Kleinhirns (s. a. S. 122)

13.2.2 Verschaltungen im somatosensiblen System

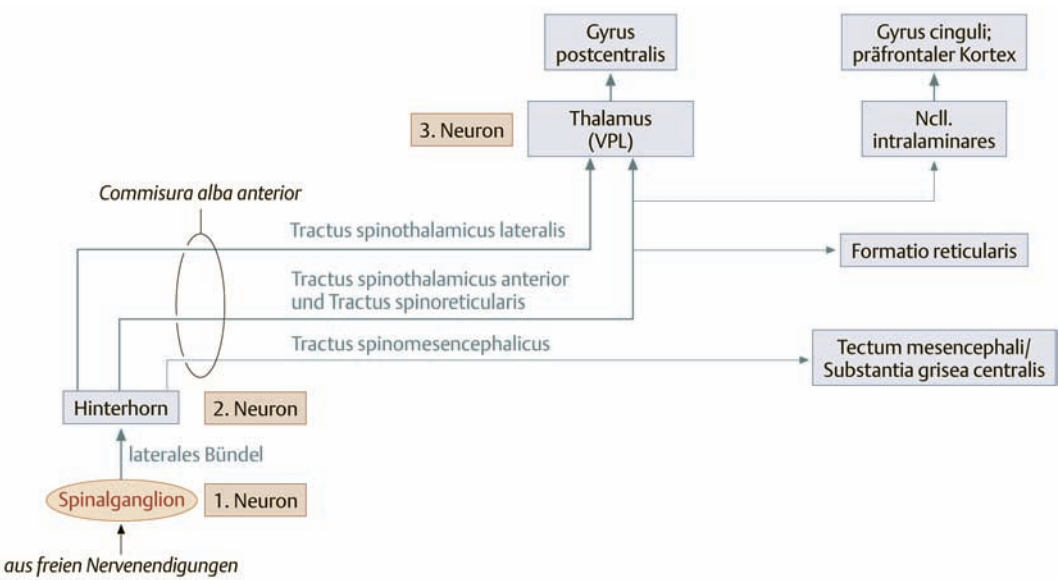


Abb. 13.15 Schmerzleitung (s. a. S. 206)

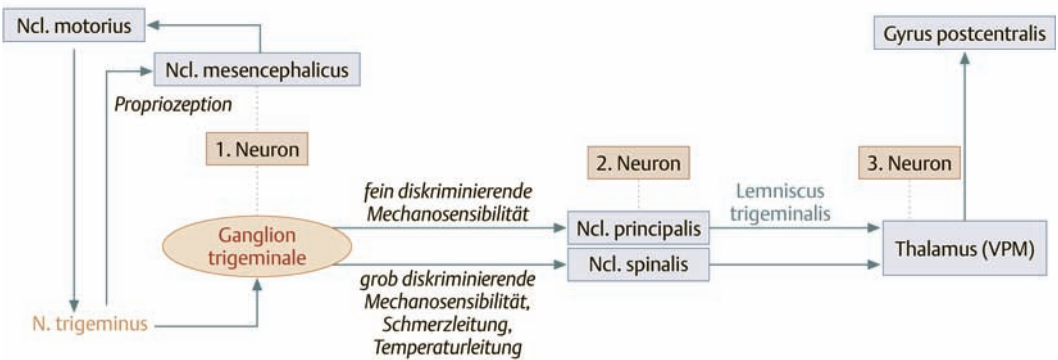


Abb. 13.16 Trigeminussystem (s. a. S. 209)

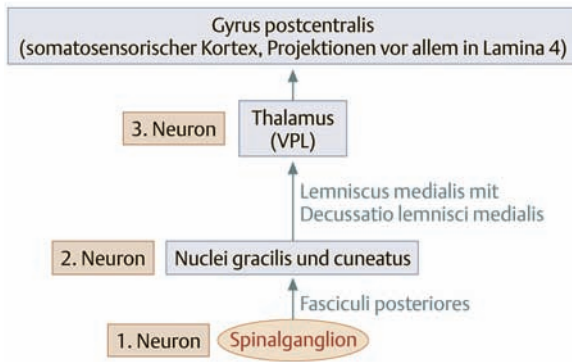


Abb. 13.17 Hinterstrangsystem (s. a. S. 206)

13.2.3 Verschaltungen im visuellen System

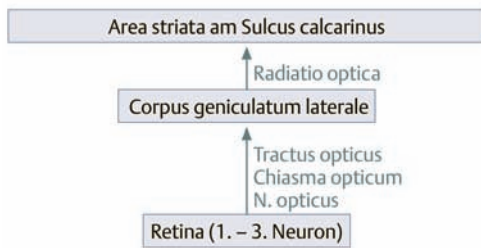
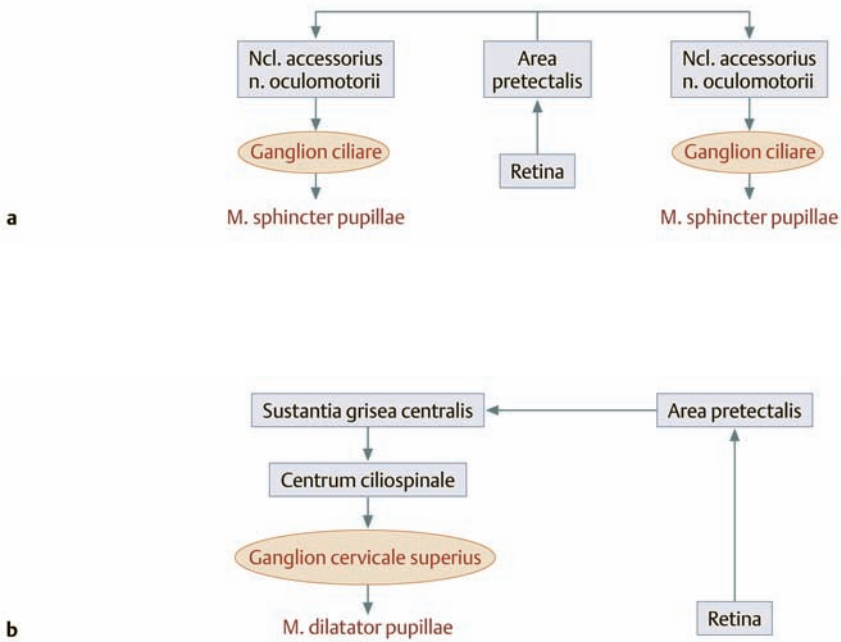


Abb. 13.18 Sehbahn (s. a. S. 210)



13

Abb. 13.19 Pupillenreflexe (s. a. S. 213)
a Miosis (konsensuelle Lichtreaktion)
b Mydriasis

13.2.4 Verschaltungen im auditorischen und vestibulären System

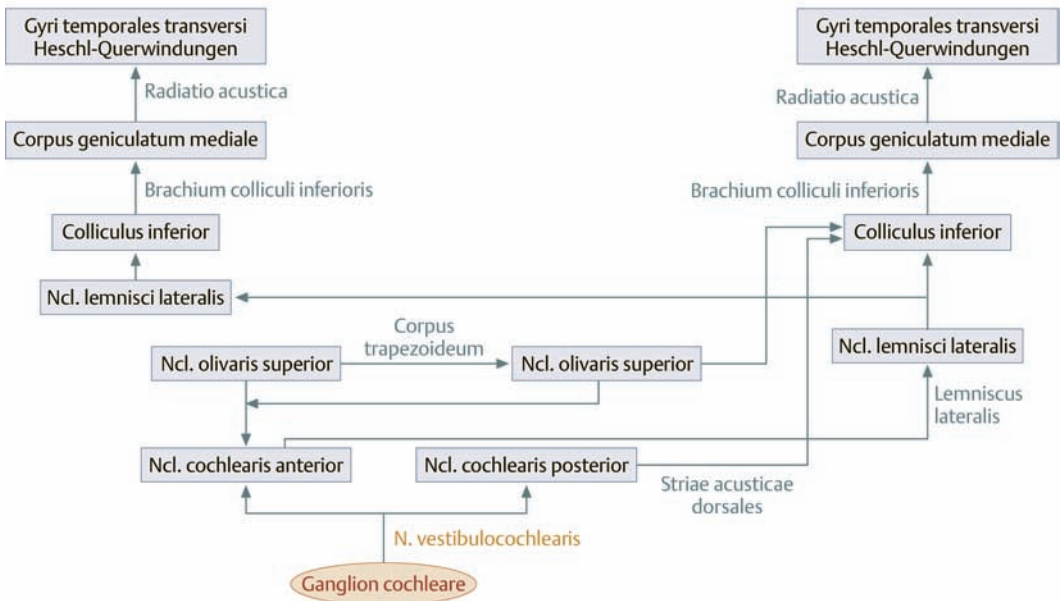


Abb. 13.20 Hörbahn (s. a. S. 214)

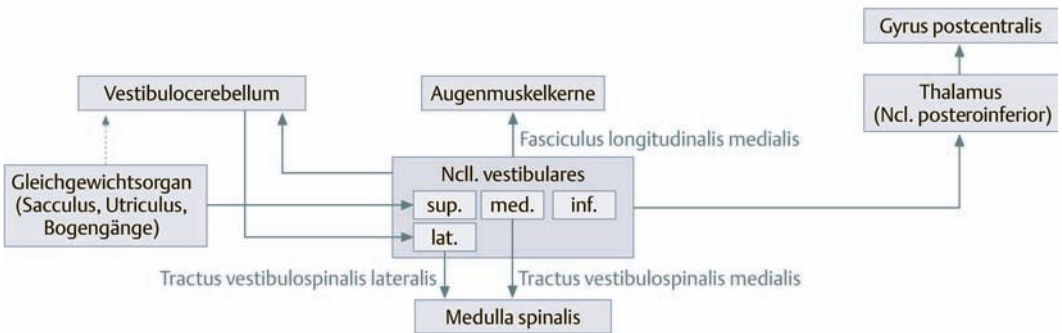


Abb. 13.21 Verschaltungen der Ncll. vestibulares (s. a. S. 217)

13.2.5 Verschaltungen im gustatorischen und olfaktorischen System

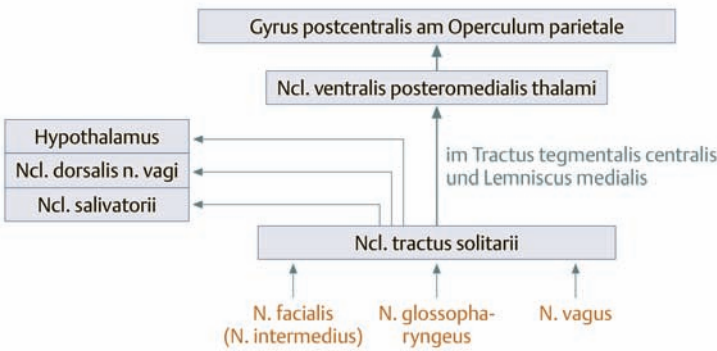


Abb. 13.22 Geschmacksbahn (s. a. S. 220)

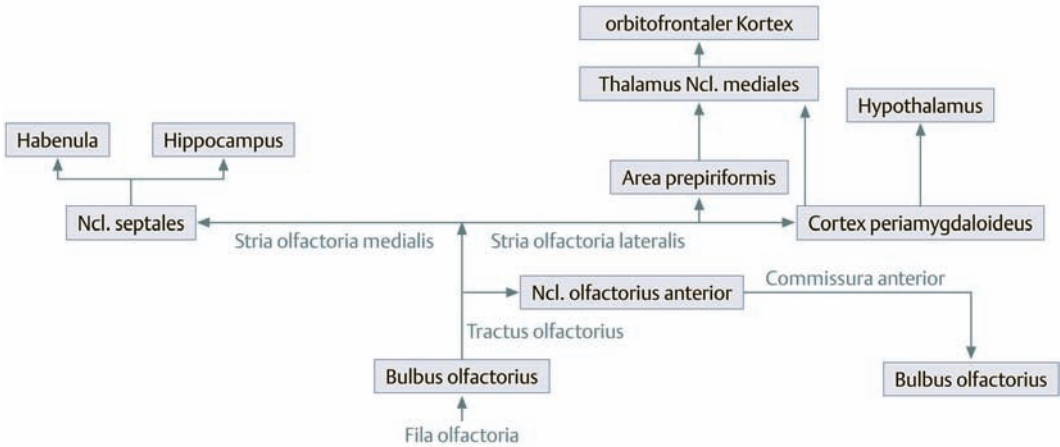


Abb. 13.23 Riechbahn (s. a. S. 219)

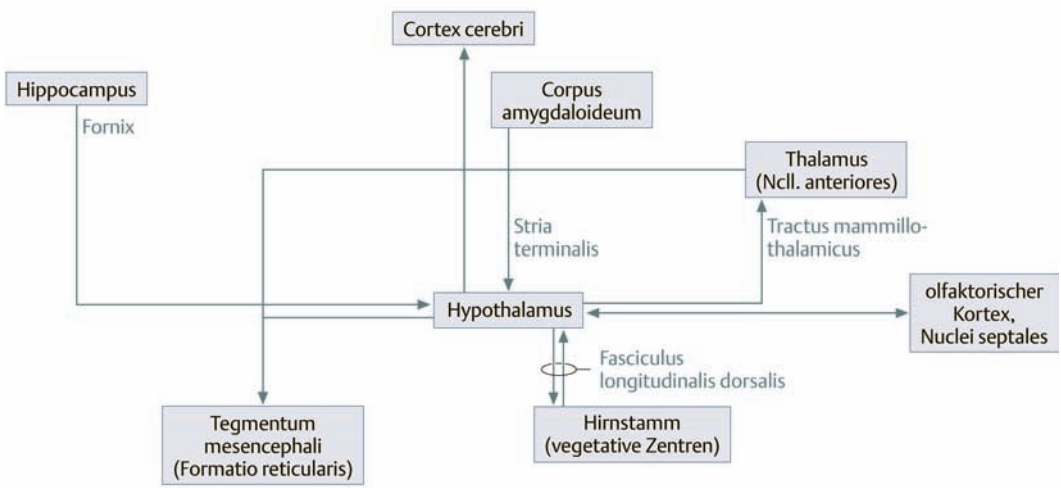


Abb. 13.27 Wichtige Verschaltungen des Hypothalamus (s. a. S. 135)

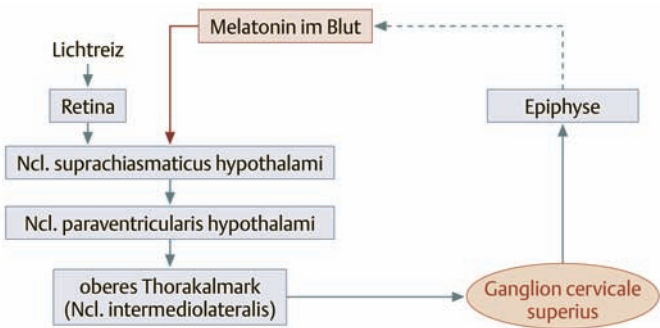


Abb. 13.28 Steuerung der Epiphyse (zirkadiane Rhythmik, s. a. S. 136)

13.3 Literaturverzeichnis

- Adelman, G. et al.: Encyclopedia of Neuroscience. Vol. 1+2, Elsevier, Amsterdam 1999
- Aumüller, G. et al.: Duale Reihe Anatomie. Thieme, Stuttgart 2007
- Bähr, M., Frotscher, M.: Duus' Neurologisch-topische Diagnostik. 8. Aufl., Thieme, Stuttgart 2003
- Dauber, W.: Feineis' Bild-Lexikon der Anatomie. 9. Aufl., Thieme, Stuttgart 2005
- Delank, H.-W., Gehlen, W.: Neurologie. 11. Aufl., Thieme, Stuttgart 2006
- Dilling, H., Reimer, C.: Psychiatrie und Psychotherapie. 3. Aufl., Springer, Berlin Heidelberg 1997
- Drenckhahn, D., begr. von Benninghoff, A.: Anatomie. Bd. 2, 16. Aufl., Urban & Fischer (Elsevier), München 2004
- Graham, D. I., Lantos, P. L.: Greenfield's Neuropathology. Vol. 1, 6th ed., Hodder Arnold, New York 1997
- Graumann, W., Sasse, D.: Compact Lehrbuch Anatomie. Bd. 4, Schattauer, Stuttgart 2005
- Kahle W., Frotscher M.: Taschenatlas der Anatomie. Bd. 3, 9. Aufl., Thieme, Stuttgart 2005
- Leonhardt, H., Tillmann, B., Töndury, G., Zilles, K., begr. von Rauber, A. und Kopsch, F.: Anatomie des Menschen. Bd. 3 u. 4, Thieme, Stuttgart. Bd. 3: 1987, Bd. 4: 1988
- Lüllmann-Rauch, R.: Histologie. 2. Aufl., Thieme, Stuttgart 2006
- Moore, K. L., Persaud, T. V. N., übersetzt und bearbeitet von Viebahn, Chr.: Embryologie. 5. Aufl., Urban & Fischer (Elsevier), München 2007
- Mumenthaler, M., Mattle, H.: Neurologie. 11. Aufl., Thieme, Stuttgart 2002
- Mumenthaler M., Mattle H.: Kurzlehrbuch Neurologie. Thieme, Stuttgart 2006
- Riede, U.-N., Schaefer, H.-E.: Pathologie. 5. Aufl., Thieme, Stuttgart 2004
- Rohkamm, R.: Taschenatlas Neurologie. 2. Aufl., Thieme, Stuttgart 2003
- Schirmer, M.: Neurochirurgie. 10. Aufl., Urban & Fischer (Elsevier), München 2005
- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U.: Prometheus LernAtlas der Anatomie, Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. 2. Aufl., Thieme, Stuttgart 2007
- Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U.: Prometheus LernAtlas der Anatomie, Kopf und Neuroanatomie. Thieme, Stuttgart 2006
- Trepel, M.: Neuroanatomie. 3. Aufl., Urban & Fischer (Elsevier), München 2004
- Ulfig, N.: Bewegungsapparat. Karger, Basel 2002
- Ulfig, N.: Kurzlehrbuch Histologie. 2. Aufl., Thieme, Stuttgart 2005
- Ulfig, N.: Kurzlehrbuch Embryologie. Thieme, Stuttgart 2005
- Schiebler, T. H.: Anatomie. 9. Aufl., Springer, Berlin Heidelberg 2007
- Tillmann, B. N.: Atlas der Anatomie. Springer, Berlin Heidelberg 2005
- Williams P. L., Warwick R., Gray H.: Gray's Anatomy. 37th ed., Churchill Livingstone, Edinburgh 1989
- Zilles, K., Rehkämper, G.: Funktionelle Neuroanatomie. 3. Aufl., Springer, Berlin Heidelberg 1998

13.4 Quellenverzeichnis

Abbildungen zu Inhaltsübersichten:

- Kap. 1, 6, 7 Kühnel, W.: Taschenatlas Histologie. 12. Aufl., Thieme, Stuttgart 2008
- Kap. 2 ccvision
- Kap. 3 Neundörfer, B., Heuß, D.: Polyneuropathien. Thieme, Stuttgart 2006
- Kap. 4 Heinzeller, T., Büsing, C. M.: Histologie, Histopathologie und Zytologie für den Einstieg. Thieme, Stuttgart 2001
- Kap. 5, 10, 13 Möller, T. B., Reif, E.: Taschenatlas Schnittbildanatomie, Bd. 1. 3. Aufl., Thieme, Stuttgart 2005
- Kap. 8, 11, 12 PhotoDisc
- Kap. 9 Haupt, W. F., Jocheim, K. A., Remschmidt, H.: Neurologie und Psychiatrie für Pflegeberufe. 9. Aufl., Thieme, Stuttgart 2002

Abbildungen aus anderen Thieme-Werken

- Ulfing, N.: Kurzlehrbuch Histologie. 2. Aufl., Thieme, Stuttgart 2005: Abb. 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 7.5, 12.6, 12.9
- Ulfing, N.: Kurzlehrbuch Embryologie. Thieme, Stuttgart 2005: Abb. 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5

Abbildungen zu klinischen Fällen als

Kapiteleinstieg:

- Kap. 1 Füeßl, H. S., Middecke, M.: Duale Reihe Anamnese und Klinische Untersuchung. 3. Aufl., Thieme, Stuttgart 2005
- Kap. 2 Sterry, W., Paus, R.: Checkliste Dermatologie. 5. Aufl., Thieme, Stuttgart 2004
- Kap. 3 Hof, H., Dörries, R.: Duale Reihe Medizinische Mikrobiologie. 3. Aufl., Thieme, Stuttgart 2004
- Kap. 4 Grehl, H., Reinhardt, F.: Checkliste Neurologie. 3. Aufl., Thieme, Stuttgart 2005
- Kap. 5 Sartor, K.: Neuroradiologie. 3. Aufl., Thieme, Stuttgart 2006
- Kap. 7 TIM – Thiemes Innere Medizin. Thieme, Stuttgart 1999
- Kap. 8, 11 Masuhr, K. F., Neumann, M.: Duale Reihe Neurologie. 6. Aufl., Thieme, Stuttgart 2007
- Kap. 9 Gerlach, R., Bickel, A.: Fallbuch Neurologie. Thieme, Stuttgart 2005
- Kap. 10 Sartor, K., Hähnel, S., Kress, B.: Pareto-Reihe Radiologie Gehirn. Thieme, Stuttgart 2006
- Kap. 12 Oestreicher, E. et al.: HNO, Augenheilkunde, Dermatologie und Urologie für Pflegeberufe. Thieme, Stuttgart 2003

Sachverzeichnis

A

Abduzensparese 66
 Absteigendes retikuläres System 105
 Acetylcholin 11
 – motorische Endplatte 86
 – Sympathikus 223
 – Parasympathikus 226
 Achillessehnenreflex 87
 Adamkiewicz-Arterie 190
 Adenohypophyse 138, **140**
 – Entwicklung 27
 Aderhaut 244
 – Gefäße 253
 ADH = antidiuretisches Hormon 138
 Adhesio interthalamica 129
 AEP = akustisch evozierte Potenziale 215
 A-Faser 14
 – Schmerzleitung 208
 Affenhand 45
 Afferenzen 6
 Agnosie, taktile 155
 Akkommodation 213
 Akromegalie 128
 Akustikusneurinom 113
 Akustisch evozierte Potenziale = AEP 215
 Akzessoriusparese 72
 Allokortex 145
 Alternans-Syndrom 189
 Altersweitsichtigkeit 245
 Alveus 165
 Alzheimer, Morbus 99, **160**, 228
 Amakrine Zellen, Retina 247
 Amaurose 212
 Amboss 235
 Amboss-Steigbügel-Gelenk 236
 Ammonshorn 164
 Amphizyt 14
 Amygdala *siehe* Corpus amygdaloideum 159
 Amyotrophe Lateralsklerose 199
 Analreflex 87
 Anästhesie 35
 Anenzephalie 22
 Aneurysma 186
 Anfangssegment, Nervenzelle 7
 Angulus pontocerebellaris 112
 Ansa cervicalis 38
 Antagonistenerschlaffung 86
 Anthelix 231
 Antidiuretisches Hormon = ADH 138
 Antihistaminika 137
 Antitragus 231
 Anulus tendineus 250
 – durchtretende Strukturen 253
 Apertura
 – lateralis, IV. Ventrikel **174**, 176
 – mediana, IV. Ventrikel **174**, 176
 Aphasie 153
 – Leitungsaphasie 154
 Apoplex 187
 Aqueductus mesencephali = Aqueductus cerebri 101, **174**, 176
 Arachnoidalzotten 176
 Arachnoidea mater 171

ARAS = aufsteigendes retikuläres aktivierendes System 104
 – Thalamus 130
 Arbor vitae, Kleinhirn 120
 Archicerebellum 119
 Area(-ae)
 – entorhinalis **165**, 227
 – hypothalami 134
 – postrema **104**, 271
 – prepiriformis 220
 – pretectalis 213
 – septalis 161
 – striata **155**, 210
 – subcallosa 148
 – tegmentalis ventralis **101**, 158
 Arteria(-ae)
 – Adamkiewicz 190
 – basilaris 182
 – callosomarginalis 185
 – canalis pterygoidei 184
 – caroticotympanicae 184
 – carotis interna 184
 – centrales
 – – anterolaterales **185**, 189
 – – anteromediales 185
 – – posteromediales 184
 – centralis retinae 252
 – cerebri anterior 184
 – – Versorgungsgebiet 187
 – – Verschluss 188
 – cerebri media 185
 – – Versorgungsgebiet 188
 – – Verschluss 188
 – cerebri posterior 183
 – – Versorgungsgebiet 188
 – – Verschluss 188
 – choroidea anterior 184
 – ciliares
 – – anteriores 253
 – – posteriores 253
 – communicans
 – – anterior 185 f
 – – posterior 184, 186
 – corticales breves 187
 – hypophysialis
 – – inferior 184
 – – superior 184
 – inferior
 – – anterior cerebelli 183
 – – posterior cerebelli 182
 – infraorbitalis 252
 – insulares 185
 – labyrinthi 183
 – lenticulostriatae 185
 – – Blutung 189
 – medullares longae 187
 – meningeae media 172
 – – Blutung 171
 – meningeae posterior 172
 – occipitales 183
 – ophthalmica 184, **252 f**
 – pericallosa 185
 – polaris temporalis 185
 – pontis 183
 – radicularis
 – – anterior 190
 – – magna 190
 – – posterior 190
 – spinalis anterior **182**, 190
 – – Verschluss 190

– spinalis posterior **182**, 190
 – subcorticales 187
 – superior cerebelli 183
 – temporalis anterior 185
 – vertebralis 181
 Articulatio
 – incudomallearis 236
 – incudostapedialis 236
 Assoziationsbahnen 161
 Assoziationsfelder, Isokortex 152
 Assoziationskortex
 – frontaler 153
 – parietaler 155
 Astrozyt 11
 Astrozytom, pilozytäres 12
 Atemzentrum 103
 Auditorisches System **214**, 269
 Auerbach-Plexus 226
 Aufsteigendes retikuläres aktivierendes System = ARAS 104
 Augenbecher 27
 Augenbecherstiel 27
 Augenbläschen 27
 Augenfeld, frontales 200
 Augenhintergrund 249
 Augenkammern 244
 – Begrenzungen 246
 Augenlid 249
 Augenmuskelkerne 110, 269
 – Verbindungen 105, 216 ff
 Augenmuskeln
 – innere **243**, 245, 246
 – – Innervation 58, **222**
 – äußere **243**, **250**
 – – Innervation 58 ff, **251**
 Auricula = Ohrmuschel 231
 Auris
 – externa *siehe* Ohr, äußeres 231
 – interna *siehe* Innenohr 238
 – media *siehe* Mittelohr 233
 Axon 7
 – dendritisches 8
 A-Zelle, sensibles Ganglion 17

B

Babinski-Reflex 86
 Balken *siehe* Corpus callosum 161
 Band-Synapse 10
 Bandscheibenschaden, Kompressionssyndrome 77
 Basalganglien 157
 – arterielle Versorgung 188
 – Verschaltung **201**, 264
 Basalzellen, Geschmacksorgan 254
 Basalzisterne
 – hintere 173
 – vordere 173
 Basilaristhrombose 92, **190**
 Basilarmembran, Cochlea 239 f
 Bauchhautreflex 87
 Bauchspeicheldrüse, Innervation 222
 Bell-Phänomen 67
 Bergmann-Gliazellen 122
 Betz-Riesenzellen 153
 Bewegungsapparat, Rezeptoren 255
 Bindehaut 249
 Binnenzellen, Rückenmark 79
 Bipolare Nervenzelle 8

Bipolare Zellen, Isokortex 150
 Bizepssehnenreflex 87
 Blasenzentrum, frontales 154
 Blinder Fleck 249
 Blindheit, kortikale 156
 Blut-Hirn-Schranke 178
 Blut-Liquor-Schranke 177
 Blut-Nerven-Schranke 16
 Blutdruckregulation 137
 Blutgefäße, Innervation 222
 Blutung, intrazerebrale 189
 Bochdalek-Blumenkörnchen 176
 Bodenplatte 24
 Bogengang 241
 Bogengangsampe 242
 Borreliose 32
 Bouton, Axon 8
 Bowman-Drüsen 254
 Brachium
 – colliculi inferioris 99, 215
 – colliculi superioris 99
 Brechkraft 244
 Brechzentrum 104
 Broca-Aphasie 153
 Broca-Sprachzentrum 153
 Bronchialbaum, Innervation 222
 Brown-Séquard-Syndrom 87
 Bruch-Membran 244
 Brücke-Muskel 246
 Brückenvenen 191
 Bulbärparalyse 111
 Bulbus
 – oculi 243
 – olfactorius 149, 219
 Bulbuswand, Schichten 244
 Burdach-Strang *siehe* Fasciculus
 cuneatus 83
 Büschelzellen, Bulbus olfactorius
 219
 B-Zelle, sensibles Ganglion 17

C

C-Faser 14
 – Schmerzleitung 208
 Calcar avis 175
 Camerae bulbi *siehe* Augenkam-
 mern 244
 Canaliculus
 – lacrimalis 250
 – vestibuli 241
 Canalis(-es)
 – centralis, Rückenmark 24
 – musculotubarius 237
 – nasolacrimalis 252
 – opticus 252
 – semicirculares 238, 241
 – spiralis cochleae 239
 Capsula
 – externa 158, 163, 259, 262
 – extrema 163, 259, 262
 – interna 158, 162, 259, 262
 – arterielle Versorgung 188
 Cauda equina 24, 75
 – Schädigung 81
 Cavitas tympani 233
 Centrum
 – anospinale 88
 – ciliospinale 88, 213
 – genitospinale 88
 – vesicospinale 88, 222
 Cerebellum *siehe* Kleinhirn 117
 Cerebrocerebellum 119
 Cerebrum *siehe* Endhirn 145

Cerumen obturans 232
 CGL *siehe* Corpus geniculatum
 laterale 134
 CGM *siehe* Corpus geniculatum
 mediale 134
 Chiasma opticum 211, 260, 264
 Chorda tympani 67
 Chordotomie 206
 Chorea Huntington 144
 Choroidea 244
 – Gefäße 253
 Cingulum 161
 Circulus arteriosus
 – iridis 253
 – cerebri (Willisi) 181, 186
 Cisterna(-ae)
 – ambiens 173
 – basalis 172
 – cerebellomedullaris 172
 – chiasmatica 173
 – interpeduncularis 173
 – lumbalis 173
 – pontocerebellaris 173
 – quadrigeminalis 173
 – subarachnoideae 172
 Claustrium 160, 259
 Cochlea 238
 Colliculus(-i)
 – facialis 99
 – inferiores 99, 102, 216
 – superiores 99, 101, 262
 Columna(-ae)
 – fornicis 166
 – Rückenmark 78
 Commissura(-ae)
 – albae 81
 – anterior 129, 146, 161, 260, 262
 – epithalamica 141
 – fornicis 162, 166
 – griseae 78
 – habenularum 141
 – posterior 141
 Commotio cerebri 4
 Complexus olivaris inferior 96
 Confluens sinuum 193
 Contre-Coup 4
 Contusio cerebri 4
 Conus medullaris 24, 75
 Corium 254
 Cornea 244, 245
 Cornu(-a)
 – ammonis, Hippocampus 164
 – anterior, Rückenmark 78
 – frontale, Seitenventrikel 175, 259
 – laterale, Rückenmark 78
 – occipitale, Seitenventrikel 175
 – posterior, Rückenmark 78, 81
 – temporale, Seitenventrikel 175,
 261
 Corona radiata 163
 Corpus(-ora)
 – adiposum orbitae 252
 – amygdaloideum 159, 227, 260,
 263, 271
 – callosum 146, 161, 259, 262, 263
 – cerebelli 117
 – ciliare 244, 245
 – geniculatum laterale = CGL 134,
 211, 261
 – geniculatum mediale = CGM 134,
 216
 – mamillare 129, 137, 227, 261,
 263

– Läsion 137
 – pineale *siehe* Epiphyse 140
 – trapezoideum 99, 216
 – vitreum 247
 Cortex
 – cerebelli 120
 – cerebri 145
 – periamygdaloideus 220
 Corti-Organ 238, 240
 Coup 4
 Crista ampullaris 241
 Crus cerebri 99, 261
 Culmen 118
 Cuneus 148
 Cupula 241
 – cochleae 238
 Cutis *siehe* Haut 254

D

Dämmerungssehen 248
 Darmwandnervensystem *siehe* Ner-
 vensystem, enterisches 226
 Deckplatte 24
 Declive 118
 Decussatio
 – lemnisci medialis 206
 – pedunculorum cerebellarium
 superiorum 101
 – pyramidum 94, 200
 – tegmentalis posterior 106
 Dendrit 7
 Depression 99
 Dermatom 35, 76
 Dermis 254
 Desakkommodation 246
 Diabetes insipidus, zentraler 139
 Diaphragma sellae 171
 Diencephalon *siehe* Zwischen-
 hirn 129
 Discus nervi optici 249
 Dissoziierte Sensibilitätsstörung 87
 Doppelbuschzellen, Isokortex 150
 Ductus
 – cochlearis 238, 239
 – endolymphaticus 239
 – nasolacrimalis 250, 252
 – perilymphaticus 239
 – reuniens 241
 – semicircularis 238, 241
 Dura mater 169
 – cranialis 170
 – spinalis 171
 Duraneurothel 169
 Dysdiadochokinese 120
 Dysmetrie 116, 119

E

Edinger-Westphal-Kern *siehe* Ncl. ac-
 cessorius nervi oculomotorii 110
 Efferenzen 6
 Ektoderm 21
 Emission, otoakustische 240
 Empfindungsstörung, dissozi-
 ierte 87
 Encephalon *siehe* Gehirn 3
 Endhirn = Telencephalon 145
 – Entwicklung 27
 – weiße Substanz 161
 Endolymph 238
 Endoneuralraum 16
 Endoneurium 16
 Endplatte, motorische 9

- medialis 158, 201
- Verschaltungen 158, **201**
- Glomus caroticum, Innervation 58, **70**
- Glutamat **11**, 86, 150
- Glycin **11**, 79
- Golgi-Sehnenorgan 256
- Golgi-Typ-1-Zelle 8
- Golgi-Typ-2-Zelle 8
- Golgi-Zellen, Kleinhirn 122
- Goll-Strang *siehe* Fasciculus gracilis 83
- Granulationes arachnoideae 171
- Graue Substanz 3
- Endhirn 145
- PNS 5
- Rückenmark 75, **78**
- ZNS 4
- Grauer Star 245
- Grenzstrang = Truncus sympathicus 223
- Großhirn *siehe* Endhirn 145
- Grundplatte, Rückenmark 23
- Grüner Star 247
- Gustatorisches System **220**, 270
- Guyon-Loge 46
- Gyrus(-i)
 - angularis 146, **155**
 - cinguli **148**, 227, 259
 - dentatus 147, 163, **165**
 - frontales **146**, 260
 - orbitales 149
 - parahippocampalis **148**, 261
 - paraterminalis 147
 - postcentralis 146
 - precentralis 146
 - rectus 149
 - supramarginalis 146
 - temporales transversus *siehe* Heschl-Querwindungen 154

H

- Haarzellen
 - Corti-Organ 240
 - Cristae ampullares 242
 - Maculae 242
- Habenula 141
- Hackenfußstellung 53
- Halbseiten Syndrom (Brown-Séquard) 87
- Hammer 235
- Hammer-Amboss-Gelenk 236
- Hasner-Klappe 250
- Haubenbahn, zentrale *siehe* Tractus tegmentalis centralis 105
- Haut 254
 - Innervation 35
 - Mm. arrectores pilorum 222
 - Rezeptoren 254
- Head-Zone 88
- Helicotrema 239
- Helix 231
- Hell-Dunkel-Einstellung 213
- Hemianopsie
 - heteronyme 212
 - homonyme 156, **212**
- Hemiballismus 159
- Hemisphäre
 - Endhirn 145
 - dominante 153
 - Keinhirn 117
- Hemmung
 - laterale 82

- reziproke antagonistische 86
- Herz, Innervation 222
- Heschl-Querwindungen 146, **154**
- Hinterhorn
 - Rückenmark **78**, 81
 - Seitenventrikel 175
- Hinterstrang = Funiculus posterior 81
- Hinterstrangssystem 82, **206**, 267
- Hinterwurzel *siehe* Radix posterior 33
- Hippocampus **163**, 261, 227
 - Afferenzen 165
 - Efferenzen 166
- Hippokampusformation 163
- Hirnbläschen 25
- Hirnhäute *siehe* Meningen 169
- Hirninfrakt 187
 - A. cerebri media 180
- Hirnnerven **57**
 - Austrittsstellen 112
 - Ganglien 57
 - Kerne 108
 - Verlauf 59
 - Vergleich zu Spinalnerven 33
- Hirnstamm = Truncus encephali **4**, **93**
 - arterielle Versorgung 189
 - Bahnen 105
 - Läsion 92
- Hirnstammischämie 189
- Hirntumoren 11
- Homunkulus
 - motorischer 152
 - somatosensorischer 155
- Höhlengrau, zentrales *siehe* Substantia grisea centralis 101
- Hörbahn **214**, 269
 - Kollateralen 216
 - Umschaltstellen 102, **214**
- Horizontalzellen, Retina 247
- Hormone, glandotrope 140
- Horner-Syndrom 224
- Hornhaut = Cornea 244, **245**
- Hörorgan 238
- Hörrinde
 - primäre 154
 - sekundäre 154
- Hörstreifen 216
- Hortega-Zellen 13
- Hydrocephalus 176
- Hypästhesie 35
- Hyperkinetisches Syndrom 144
- Hypermetrie 119
- Hypoglossusparesie 72
- Hypophyse 139
 - Entwicklung 27
- Hypophysenadenom 128
- Hypophysenstiel **129**, **139**
- Hypothalamus **134**, 260
 - Afferenzen 135
 - Blutdruckregulation 137
 - Efferenzen 135
 - Kerngebiete 134
 - Regulation der Nahrungsaufnahme 136
 - Regulation des Wasserhaushalts 137
 - Regulation von Schlaf 136
 - Steuerhormone 138
 - Temperaturregulation 136
 - Verschaltungen 272
 - zirkadiane Rhythmik 136

Hypothalamus-Hypophysen-System 138
Hypotympanon 235

I

- Impedanzanpassung 235
- Incisura tentorii 170
- Incus 235
- Indusium griseum **147**, 227
- Infundibulum 129, **139**
- Inhibiting-Hormone 139
- Initialsegment, Nervenzelle 7
- Innenohr 231, **238**
- Innenohrschädigung 240
- Insula 145, **146**, 260
- Insult, zerebraler 187
- Intentionstremor 116, **120**
- Interneuron 8
 - Pyramidenbahn 200
- Internodium 15
- Intumescentia
 - cervicalis 75
 - lumbosacralis 75
- Iridokornealwinkel 246
- Iris 244, **245**
- Ischämie, zerebrale 187
- Isokortex 145, **150**
 - Assoziationsfelder 152
 - Sekundärfelder 152
 - Nervenzelltypen 150
 - Primärfelder 151
 - Schichtung 150
 - vertikale Kolumnen 151

J

Jacobson-Anastomose 70

K

- Kakosmie 220
- Kammerwasser 246
- Kammerwinkel 246
- Karotisstromgebiet 184
- Karpaltunnelsyndrom 45
 - bei Akromegalie 128
- Katarakt 245
- Kaudasyndrom 88
- Kaumuskulatur, Innervation 58
- Kehlkopfmuskulatur, Innervation 58
- Kennmuskel 77
- Kernkettenfasern, Muskelspindel 255
- Kernsackfasern, Muskelspindel 255
- Kleinhirn = Cerebellum **117**, 120
 - Afferenzen 122, 124
 - arterielle Versorgung 189
 - Efferenzen 124
 - Entwicklung 26
 - Funktionen 119
 - Verschaltungen 120 ff., 265
- Kleinhirnatrophie, bei Alkoholabusus 116
- Kleinhirnbrückenwinkel 112
- Kleinhirnerkrankungen, klinische Zeichen 119
- Kleinhirnkerne 123
- Kleinhirnrinde 120
- Kleinhirnschleifen 204
- Kleinhirnstiele = Pedunculi cerebellares 117, 120, **124**
- Kleinhirnwurm 117
- Kletterfasern 97, **122**, 124, 265
- Knalltrauma 240
- Kolumnen, vertikale, Isokortex 151

Kommissurenbahnen 161
 Konjunktivitis 250
 Konussydrom 88
 Konvergenz 213
 Kopfganglien 57
 Kopfspeicheldrüsen, Innervation 222
 Korbzellen
 – Kleinhirn 122
 – Isokortex 150
 Kornealreflex 62
 Körnerschicht
 – äußere
 – – Isokortex 151
 – – Retina 248
 – innere
 – – Isokortex 151
 – – Retina 248
 – Kleinhirn 121
 Körnerzellen, Kleinhirn 122
 Korsakow-Syndrom 137
 Kortex
 – Allokokortex 145
 – auditorischer *siehe* Hörrinde 154
 – extrastriärer 156
 – Isokortex 145, **150**
 – präfrontaler 153
 – prämotorischer 153
 – primär motorischer 152
 – – Läsionen 153
 – primär somatosensorischer 154
 – sekundär somatosensorischer 155
 – supplementär motorischer 153
 – visueller *siehe* Sehrinde 155
 Kortikale Blindheit 156
 Krallenhand 46
 Kreislaufzentrum 103
 Kremasterreflex 87
 Kulissenphänomen 72

L

Labbé-Vene 192
 Labyrinth, Innenohr 238
 Lacus lacrimalis 250
 Lähmung 199
 Lamina(-ae)
 – basilaris, Cochlea 239
 – Isokortex 151
 – Medullares, Thalamus **130**, 260
 – Rückenmark 79
 – quadrigemina *siehe* Vierhügelplatte 101
 – spiralis ossea 239 f
 – tecti *siehe* Vierhügelplatte 101
 – terminalis 129, 146
 Längsfaserbündel,
 – dorsales 106, 135
 – mediales 105
 Lärmschwerhörigkeit 241
 Laterale Hemmung **82**, 151
 Lederhaut 244
 Leitungsapasie 154
 Lemniscus
 – lateralis **106**, 216
 – medialis **83**, **107**, 206
 – spinalis 107
 – trigeminalis 107, **209**, 266
 Lemniskussystem, mediales *siehe* Hinterstrangsystem 206
 Lens 245
 Leptin 136
 Leptomeninx 169, **171**
 Leukomalazie, periventrikuläre 29

Lewy-Körperchen 100
 Liberine 139
 Lichtreaktion *siehe* Pupillenreflex 213
 Liddrüsen 249
 Lidschlussreflex 102
 Ligamentum
 – denticulatum 171
 – spirale 239
 Limbisches System 137, 203, **227**, 271
 Limbus spiralis 240
 Linse 245
 Linsenfasern 245
 Linsenkapsel 245
 Lipofuszingranula 7
 Liquor cerebrospinalis 169, **176**
 Liquorentnahme 174
 Liquorraum
 – äußerer 169, **172**
 – innerer 169, **174**
 Liquorsystem 172
 Lobulus(-i)
 – cerebelli 118
 – paracentralis 148
 – quadrangularis posterior 118
 Lobus(-i)
 – cerebelli 118
 – flocculonodularis 117
 – frontalis 146
 – insularis 146
 – limbicus 147
 – nervosus 140
 – occipitalis 146
 – parietalis 146
 – temporalis 146
 Lumbalmark 81
 Lumbalpunktion 174

M

Macula(-ae)
 – lutea 248
 – staticae 241
 Magen-Darm-Trakt, Innervation 222
 Magnozelluläre Neurone, Hypothalamus 138
 Makroglia 11
 Makrographie, bei Kleinhirnläsion 120
 Malleus 235
 Mandelkernkomplex *siehe* Corpus amygdaloideum 159
 Mantelkante 146
 Mantelzelle, Ganglion 14
 Mantelzone, Rückenmark 23
 Marginalzone, Rückenmark 23
 Markscheide
 – PNS 14
 – ZNS 15
 Markscheidenentwicklung, PNS 15
 Massenblutung, hypertensive 189
 Masseterreflex 210
 Meatus
 – acusticus externus 232
 – acusticus internus 238
 – nasalis inferior 250
 Mechanorezeption **82 f**, 206
 – trigeminale 209
 Mechanorezeptoren 6
 – Bewegungsapparat 255
 – Haut 254
 Medianusgabel 44
 Medulla oblongata 94
 – Entwicklung 26
 Medulla spinalis *siehe* Rückenmark 75
 Meißner-Plexus 226
 Meißner-Tastkörperchen 255
 Meibom-Drüsen 249
 Melatonin 136, **140**
 Membrana
 – limitans gliae vascularis **12**, 122
 – limitans superficialis **12**, 122
 – statoconiorum 241
 – tectoria, Corti-Organ 240
 – tympanica *siehe* Trommelfell 232
 – vestibularis 239
 Menière, Morbus 230
 Meningealzellen 169, **171**
 Meningen 169
 – Blutversorgung 172
 – Innervation 172
 Meningitis 172
 Meningoencephalitis 172
 Meralgia paraesthetica 50
 Merkel-Zellen 255
 Mesaxon 14
 Mesencephalon *siehe* Mittelhirn 99
 Mesotympanon 233
 Metathalamus 134
 Mikroglia, ZNS 13
 Mikrographie, bei Morbus Parkinson 198
 Miktionszentrum, pontines 104
 Miosis 213, **245**, 268
 Mitralzellen, Bulbus olfactorius 219
 Mittelhirn = Mesencephalon 99
 – Entwicklung 27
 Mittelohr 231, **233**
 – Gefäßversorgung 237
 – Innervation 237
 – Muskeln 236
 Mittelohrentzündung 237
 Modiolus 239
 Molekularschicht
 – Isokortex 151
 – Kleinhirn 121
 Moll-Drüsen 249
 Moosfasern
 – Kleinhirn **122**, 124, 265
 – Gyrus dentatus 165
 Motoneuron
 – Anordnung 77
 – α -Motoneuron **78**, 200
 – γ -Motoneuron **78**, 204
 Motorische Endplatte 9
 Motorik 199
 M-System, Sehvorgang 212
 Müller-Muskel 246
 Müller-Zellen, Retina 247
 Multiforme Schicht, Isokortex 151
 Multiple Sklerose 15
 Multipolare Nervenzelle 8
 Musculus(-i)
 – abductor
 – – digiti minimi, Hand 48
 – – digiti minimi, Fuß 53
 – – hallucis 54
 – – pollicis brevis 43
 – – pollicis longus 46
 – adductor
 – – brevis 50
 – – hallucis 54
 – – longus 50

- - magnus 50, 53
 - - pollicis 48
 - - anconeus 43
 - biceps
 - - brachii 41
 - - femoris 53
 - brachialis 41
 - brachioradialis 43
 - bulbospongiosus 57
 - ciliaris 58, 213, 244, **246**
 - constrictor pharyngis
 - - medius 70 f
 - - superior 70 f
 - - inferior 71
 - - coracobrachialis 41
 - - cricothyroideus 71
 - - deltoideus 41
 - - digastricus 58
 - - Venter anterior 65
 - - Venter posterior 67
 - dilatator pupillae 213, 222, 244, **245**
 - extensor
 - - carpi radialis brevis 43
 - - carpi radialis longus 43
 - - carpi ulnaris 43
 - - digiti minimi 43
 - - digitorum 43
 - - digitorum brevis 56
 - - digitorum longus 56
 - - hallucis brevis 56
 - - hallucis longus 56
 - - indicis 43
 - - pollicis brevis 43
 - - pollicis longus 43
 - - externi bulbi oculi 250
 - - fibulares 56
 - flexor
 - - carpi radialis 46
 - - carpi ulnaris 48
 - - digiti minimi, Hand 48
 - - digiti minimi, Fuß 54
 - - digitorum brevis 54
 - - digitorum longus 54
 - - digitorum profundus 46, 48
 - - digitorum superficialis 56
 - - hallucis brevis 54
 - - hallucis longus 54
 - - pollicis brevis 46, 48
 - - pollicis longus 46
 - - gastrocnemius 54
 - - gemelli 52
 - - glutei 56
 - - gracilis 50
 - - iliacus 49
 - - infrapinatus 40
 - - interossei
 - - dorsales, Hand 48
 - - dorsales, Fuß 53
 - - palmares 48
 - - plantares 53
 - - ischiocavernosus 57
 - - latissimus dorsi 41
 - levator
 - - palpebrae 58, 249
 - - scapulae 40
 - - veli palatini 70, 71
 - - lumbricales 46, 48
 - - masseter 65
 - - mylohyoideus 58, 65
 - - obliquus
 - - inferior 58, **250 ff**
 - - internus abdominis 49
 - - superior 58, **250 ff**
 - - obturatorius internus 52
 - - opponens
 - - - digiti minimi, Hand 48
 - - - digiti minimi, Fuß 54
 - - pollicis 46
 - - orbicularis oculi 249
 - - palatoglossus 70
 - - palatopharyngeus 70
 - - palmaris longus 46
 - - pectineus 50
 - - pectorales 41
 - - peronei 56
 - - piriformis 52
 - - plantaris 54
 - - popliteus 54
 - - pronator
 - - - quadratus 46
 - - - teres 46
 - - - psoas
 - - - major 49
 - - - minor 49
 - - - pterygoidei 65
 - - - quadratus
 - - - femoris 52
 - - - lumborum 49
 - - - plantae 54
 - - - rectus
 - - - inferior 58, **250 ff**
 - - - lateralis 58, **250 ff**
 - - - medialis 58, **250 ff**
 - - - superior 58, **250 ff**
 - - - rhomboidei 40
 - - - semimembranosus 53
 - - - semitendinosus 53
 - - - serratus anterior 40
 - - - soleus 54
 - - - sphincter
 - - - ani externus 57
 - - - pupillae 58, 213, 244, **245**
 - - - stapedius 58, 67, **236**
 - - - sternocleidomastoideus 58
 - - - stylohyoideus 58
 - - - stylopharyngeus 70
 - - - subclavius 40
 - - - subscapularis 41
 - - - supinator 43
 - - - supraspinatus 40
 - - - tarsales 249
 - - - temporalis 65
 - - - tensor
 - - - fasciae latae 56
 - - - tympani 58, 65, **236**
 - - - veli palatini 58, 65
 - - - teres
 - - - major 41
 - - - minor 41
 - - - tibialis
 - - - anterior 56
 - - - posterior 54
 - - - transversus
 - - - abdominis 49
 - - - perinei 57
 - - - trapezius 58
 - - - triceps
 - - - brachii 43
 - - - surae 54
 - - - uvulae 70 f
 - Muskel, plurisegmentaler 77
 - Muskelatrophie, spinale 23
 - Muskeleigenreflex 86
 - Muskelhypotonie 120
 - Muskelspindel 255
 - Mydriasis 213, **245**, 268
 - Myelin, Kompaktierung 14
 - Myelinisierung, PNS 15
 - Myelinscheide
 - PNS 14
 - ZNS 15
 - Myelose, funikuläre 74
 - M-Zelle, retinale 212, **247**
- N**
- Nahakkommodation 213, **246**
 - Nah-Fern-Einstellung 213
 - Nahrungsaufnahme, Regulation 136
 - Nebennierenmark, Innervation 222
 - Neocerebellum 119
 - Neokortex 150
 - Neostriatum 158
 - Nerv, peripherer 16
 - - Durchtrennung 16
 - Nervenendigung, freie 6, 206, **254**
 - Nervenfaser 6
 - A-Faser 14
 - afferente 6
 - C-Faser 14
 - efferente 6
 - markhaltige 14 f
 - marklose 14, **16**
 - periphere, Regeneration 16
 - sensible 6
 - sensorische 6
 - Nervenläsion
 - N. abducens 66
 - N. accessorius 72
 - N. axillaris 41
 - N. cutaneus femoris lateralis 50
 - N. facialis 67
 - N. fibularis
 - - communis 54
 - - profundus 55
 - - superficialis 55
 - N. glossopharyngeus 72
 - N. gluteus
 - - superior 56
 - - inferior 56
 - N. hypoglossus 72
 - N. laryngeus recurrens 72
 - N. medianus 45
 - N. obturatorius 50
 - N. oculomotorius **60**, 214
 - N. opticus 212
 - N. phrenicus 39
 - N. radialis 43
 - N. thoracicus longus 39
 - N. tibialis 54
 - N. ulnaris 46
 - N. vagus 72
 - Nervensystem
 - animalisches = somatisches 5
 - autonomes = vegetatives = viszerales 5, **221**
 - enterisches 5, 223, **226**
 - Entwicklung 21
 - peripheres = PNS 5, **33**
 - zentrales = ZNS 3
 - Nervenzelle 7
 - bipolare 8
 - multipolare 8, 17
 - pseudounipolare 8, 17
 - Nervus(-i)
 - abducens (VI) 58, **64**, 252
 - - Austrittsstelle 113

- - Läsion 66
- accessorius (XI) 58, **72**
- - Austrittsstelle 113
- - Läsion 72
- alveolares superiores 64
- alveolaris inferior 65
- anales inferiores 57
- auricularis
- - anterior 65
- - magnus 38
- - posterior 67
- auriculotemporalis 65
- axillaris 41
- - Läsion 41
- buccalis 65
- ciliaries 63
- clunium
- - inferiores 56
- - medii 34
- - superiores 34
- coccygeus 57
- cochlearis 69
- craniales *siehe* Hirnnerven 57
- cutaneus
- - antibrachii lateralis 41
- - antibrachii medialis 41, **44**
- - antibrachii posterior 43
- - brachii lateralis 41, 43
- - brachii medialis 41
- - brachii posterior 43
- - dorsalis medialis 56
- - femoris lateralis 50
- - femoris posterior 56
- - surae lateralis 53, 56
- - surae medialis 53, 54
- digitales
- - dorsales 43, 48
- - dorsales pedis 56
- - palmares 46, 48
- dorsalis
- - penis 57
- - scapulae 40
- erigentes 226
- ethmoidales 63
- facialis (VII) 58, **66**
- - Austrittsstelle 113
- - Läsion 67
- - Genu n. facialis 99
- femoralis 50
- fibularis
- - communis 52 ff
- - Läsion 54 f
- - profundus 54 ff
- - superficialis 54 ff
- frontalis 63
- genitofemoralis 50
- glossopharyngeus (IX) 58, **69**
- - Austrittsstelle 113
- - Läsion 72
- glutei 56
- - Läsion 56
- hypoglossus 58, **72**
- - Austrittsstelle 113
- - Läsion 72
- iliohypogastricus 49
- ilioinguinalis 49
- infraorbitalis **64**, 252
- infratrochlearis 63
- intermedius 66
- interosseus
- - antibrachii anterior 45 f
- - cruris 53 f
- - posterior 43
- ischiadicus 52
- labiales 57
- lacrimalis 63
- laryngeus
- - inferior 71
- - recurrens 71 f
- - superior 71
- lingualis 65
- mandibularis (V₃) 58, **62**
- massetericus 65
- maxillaris (V₂) 58, **62**
- meatus acusticus externus 65
- medianus 41, **44 ff**
- - Läsion 45
- mentalis 65
- musclocutaneus **41**, 44
- mylohyoideus 65
- nasociliaris 63
- nasopalatinus 64
- obturatorius 50
- - Läsion 50
- occipitalis
- - major 34
- - minor 38
- - tertius 34
- oculomotorius (III) 58, **59**, 252
- - Austrittsstelle 113
- - Läsion **60**, 214
- - olfactorius (I) 58, **219**
- - ophthalmicus (V₁) 58, **62**, 252
- - opticus (II) 58, **210**, 252
- - Läsion 212
- palatini 64
- pectorales 41
- perineales 56 f
- peronei *siehe* Nn. fibulares 53
- petrosus
- - major 67
- - minor 70
- phrenicus 39
- - Läsion 39
- plantaris
- - lateralis 53, **54**
- - medialis 53
- pterygoidei 65
- pudendus 56
- radialis 42
- - Läsion 43
- rectales inferiores 57
- saphenus 52
- scrotales posteriores 57
- spinalis *siehe* Spinalnerv 33
- spinosus 65
- splanchnicus(-i)
- - lumbales 225
- - major 224
- - minor 224
- - pelvici 226
- - sacrales 225
- stapedius 67
- subclavius 40
- sublingualis 65
- suboccipitalis 34
- subscapulares 41
- supraclaviculares 38
- supraorbitalis 63
- suprascapularis 40
- supratrochlearis 63
- suralis 53 f
- temporales profundi 65
- thoracicus longus 40
- - Läsion 39
- thoracodorsalis 41
- tibialis 52, **53**
- - Läsion 54
- transversus colli 38
- trigeminus (V) 58, **62**, 209
- - Austrittsstelle 113
- trochlearis (IV) 58, **61**, 252
- - Austrittsstelle 113
- tympanicus 70
- ulnaris 41, **46**
- - Läsion 46
- - vagus (X) 58, **69**
- - Austrittsstelle 113
- - Läsion 72
- vestibulocochlearis (VIII) 58, **69**
- - Austrittsstelle 113
- - Hören 214, 240
- - Gleichgewicht 217, 242
- zygomatikus **64**, 252
- Netzhaut *siehe* Retina 247
- Netzhautablösung 247
- Neuralfalte 22
- Neuralleiste 21, **22**
- Neuralplatte 22
- Neuralrinne 22
- Neuralrohr 21
- Neuralwulst 22
- Neurit 7
- Neuroborreliose 32
- Neuroektoderm 21
- Neuroepithel, Rückenmark 23
- Neurofibromatose 20, **21**
- Neurohämale Zonen 178
- Neurohypophyse 138, **139**
- Entwicklung 27
- Neurokutane Erkrankungen 20
- Neuromodulatoren 11
- Neuron 7
- afferentes 6
- efferentes 6
- Interneuron 8
- magnozellular, Hypothalamus 138
- Projektionsneuron 8
- Neuropeptid Y = NPY 136
- Neuropil 8
- Neuroporus
- anterior 22
- posterior 22
- Neurulation 21
- Nexus 15
- Nissl-Substanz 7
- Nodus vermis 117
- Noradrenalin 11
- Sympathikus 223
- Ncl. caeruleus 98
- Noradrenalinhypothese 99
- Nozizeption 206
- trigeminale 209
- Nozizeptor 208
- NPY = Neuropeptid Y 136
- Nucleus(-i)
- accessorius nervi oculomotorii (Edinger-Westphal) 110
- - optische Reflexe 213
- accumbens **158**, 227, 263
- ambiguus 110
- anteriores 130, **132**, 227
- arcuatus 135, 136, **139**
- basalis (Meynert) **160**, 260
- caeruleus **98**, 104
- caudatus **157**, 259, 262
- centralis 102
- - lateralis 132

- - medialis 132
- centromedianus 132, 261
- cerebelli 120
- cochleares 112, 214
- cuneatus 95, 206
- - accessorius 84
- dentatus 123, 204, 263
- dorsales, Thalamus 130, 132
- dorsalis (Stilling-Clarke) 80, 84
- dorsalis nervi vagi 110 f
- dorsomedialis 135 f
- emboliformis 123, 204
- externus 102
- fastigii 123, 204
- globosi 123, 204
- gracilis 95, 206
- gustatorius 109
- habenulares 141, 227
- infundibularis 135, 138, 139
- intermediolateralis 80, 136
- interpeduncularis 101, 227
- interpositus 123
- intralaminares 130, 132
- lemnisci lateralis 216
- lentiformis 157
- limitans 132
- mammillares 135
- mediales 130, 132, 261
- mediani 130, 132
- miodorsalis 131, 132
- mesencephalicus nervi trigemini 111, 209
- motorius nervi trigemini 110
- nervi
 - - abducentis 110
 - - facialis 110
 - - hypoglossi 110
 - - oculomotorii 101, 110
 - - trochlearis 101, 110
 - - olfactorius anterior 219
 - - olivares
 - - inferiores 96, 263, 265
 - - accessorii 96
 - - olivaris principalis 96
 - - originis 108
 - - paracentralis 132
 - - parafascicularis 132
 - - parasympathici sacrales 80, 137
 - - parataenialis 132
 - - paraventricularis 135, 136, 138
 - - pericentralis 102
 - - pontis 98
 - - posterior nervi vagi 110
 - - posteriores 130, 132
 - - preoptici 135 ff
 - - pretectales 141
 - - principalis nervi trigemini 112
 - - proprius, Rückenmark 80
 - - pulvinare 132
 - - reticularis 133
 - - reuniens 132
 - - ruber 101, 261, 265
 - - salivatorii 110
 - - septales 161, 220, 227
 - - spinalis 111
 - - - nervi accessorii 110
 - - - nervi trigemini 111, 112
 - - subthalamicus 130, 133, 159, 202, 261
 - - suprachiasmaticus 135 ff
 - - supraopticus 135, 137, 138
 - - tegmentalis pedunculopontinus 105

- terminationis 108
- thoracicus posterior 80, 84
- tractus solitarii 108 ff, 112, 220
- trigeminus, Radix motoria 209
- tuberales laterales 135
- tuberomammillaris 135, 137
- ventralis
 - - posterior inferior 132 f
 - - posterolateralis = VPL 132 f, 206, 261
 - - posteromedialis = VPM 132 f, 209
- ventromedialis 135 f
- vestibulares 112, 123, 217, 269
- Nystagmus
 - bei Kleinhirnläsion 120
 - optokinetischer 212
 - bei vestibulären Störungen
 - - zentral 218
 - - peripher 242

O

- Oberflächensensibilität 205
- Oberer Olivenkomplex 215 f
- OBP = odorant binding protein 254
- Obex 95
- Odorant binding protein = OBP 254
- Ohr, äußeres 231
- Gefäßversorgung 233
- Innervation 233
- Ohrmuschel 231
- Ohrtrompete *siehe* Tuba auditiva 236
- Okulomotoriusparese 60
- Okzipitallappen 155
- Olfaktorisches System 218, 270
- Oligodendrozyt 12, 15
- Olive 94
- Olivenkomplex
 - oberer 215 f
 - unterer 97
- Operculum 146
- Operkularisation 28
- Ophthalmoplegia
 - externa 60
 - interna 60
- Ophthalmoskopie 249
- Opioid-Analgetika 101
- Opsin 248
- Optischer Apparat 244
- Optisches System, akzessorisches 212
- Ora serrata 247
- Orbita 252
- Leitungsbahnen 252
- Öffnungen 252
- Organum spirale *siehe* Corti-Organ 240
- Ostium
 - pharyngeum tubae auditivae 236
 - tympanicum tubae auditivae 236
- Otitis media 237
- Otoakustische Emissionen 240
- Otolithen 241
- Otosklerose 236
- Otoskopie 232
- Oxytocin 138

P

- Pacchioni-Granulationen 171, 176
- Pachymeninx 169
- Paleocerebellum 119
- Paleostriatum 158

Pallidum *siehe* Globus pallidus 158

- Palliothalamus 130
- Pallium 145
- Palpebra 249
- Pankreas, Innervation 222
- Papez-Kreis 137, 227, 271
- Papilla(-ae)
 - foliatae 254
 - fungiformes 254
 - lacrimales 250
 - nervi optici 249
 - vallatae 254
- Parallelfasern 121, 122
- Paraparese 88, 190
- Paraplegie 87
- Parästhesie 35
- Parasympathikus 5, 226
 - Funktionen 222
 - kranialer 226
 - Nervenzellen, Rückenmark 79
 - sakraler 226
- Parasympatholytika 226
- Parasympathomimetika 226
- Parese 35, 199
- Paries
 - caroticus 234
 - jugularis 234
 - labyrinthicus 234
 - mastoideus 234
 - membranaceus 234
 - tegmentalis 234
- Parietallappen 154
- Parkbanklähmung, N. radialis 43
- Parkinson, Morbus 100, 198, 203
- Pars
 - flaccida, Trommelfell 232
 - tensa, Trommelfell 232
- Parvozelluläres neuroendokrines System 139
- Patellarsehnenreflex 87
- Paukenhöhle 233
- Paukenhöhlenschleimhaut, Innervation 237
- Pedunculi cerebellares = Kleinhirnstiele 117, 120, 124
- Pedunculus cerebri 99
- Periaquäduktaltes Grau *siehe* Substantia grisea centralis 101
- Perikaryon 7
- Perilymphe 238
- Perineuralscheide 16
- Perineurium 16
- Peripheres Nervensystem = PNS 5, 33
- Periventriculäre Leukomalazie 29
- Pfeilerzellen, Corti-Organ 240
- Pfortadersystem, hypophysäres 139
- Phakomatose 21
- Phalangenzellen, Corti-Organ 240
- Photopisches Sehen 248
- Photorezeptorzellen, Retina 247
- Pia mater 169, 171
- Pick, Morbus 153
- Pinealorgan *siehe* Epiphyse 140
- Plegie 199
- Plexus
 - aorticus abdominalis 225
 - brachialis 37, 39
 - - Pars infraclavicularis 41
 - - Pars supraclavicularis 40
 - cardiacus 71, 224
 - cervicalis 35, 37

- choroideus 177
- coeliacus 225
- hypogastricus
 - inferior 225 f
 - superior 225
- lumbalis 37, **49**
- lumbosacralis 37, **48**
- myentericus 226
- oesophagealis 224
- pterygoideus 195
- pulmonalis 224
- sacralis 37, **52**
- solaris 225
- submucosus 226
- venöse, Gehirn 195
- venosus vertebralis 193
- Plexusepithel 177
- Plica
 - lacrimalis 250
 - mallearis 235
- Plurissegmentaler Muskel 77
- PNS = peripheres Nervensystem 5, **33**
- Polus
 - frontalis 149
 - occipitalis 146
- Polyneuropathie 2, **17**
- Pons **97**
 - Entwicklung 26
- Pontix Miktionszentrum 104
- Pontocerebellum **119**, 204
- Portio
 - minor, N. trigeminus 62
 - major, N. trigeminus 62
- Porus gustatorius 254
- Potenziale, akustisch evozierte = AEP 215
- Precuneus 148
- Presbyopie 245
- Prestin 240
- Presubiculum 165
- Primärfelder, Isokortex 151
- Processus lenticularis 236
- Projektionsbahnen 161, **162**
- Projektionsneuron 8
- Propriozeption 84, **205 ff**
 - trigeminale 209
- Propriozeptor 6, **205**, 255
- Proencephalon 4
- Protopathische Sensibilität 83
- Prussak-Raum 235
- Pseudobulbärparalyse 111
- Pseudounipolare Nervenzelle 8
- P-System, Sehvorgang 212
- Punctum
 - lacrimale 250
 - nervosum 38
- Pupille 245
- Pupillenreflex **213**, 268
- Pupillenstarre
 - absolute 214
 - amaurotische 213
- Purkinje-Zelle 121, **122**
- Putamen **157**, 259, 262
- Pyramidal-motorisches System 200
- Pyramide *siehe* Pyramis 94
- Pyramidenbahn 85, 94, 98, 100, **107**, **200**
 - in der Capsula interna 162 f
 - Schädigung **86**, 180, 190, 199
- Pyramidenbahnzeichen **86**, 199
- Pyramidenkreuzung **94**, 200

- Pyramidenschicht
 - äußere, Isokortex 151
 - innere, Isokortex 151
- Pyramidenzellen, Isokortex 150
- Pyramis
 - Medulla oblongata **94**, 200
 - vermis, Kleinhirn 118
- P-Zelle, retinale 212, **247**

Q

Querschnittssyndrom 87

R

RAAS = Renin-Angiotensin-Aldosteron-System 137

Radialgliazelle, Rückenmark 23

Radiatio

- acustica 215
- optica 211

Radiationes thalami 163

Radikuläre Symptome 35

Radix

- anterior = Vorderwurzel, Spinalnerv **33**, 75 ff
- inferior, Ansa cervicalis 38
- motoria, N. trigeminus 62
- posterior = Hinterwurzel, Spinalnerv **33**, 35, 75 ff
- sensoria, N. trigeminus 62
- superior, Ansa cervicalis 38

Ramus(-i)

- ad ganglion ciliare, N. oculomotorius 60
- anterior
 - N. obturatorius 50
- Spinalnerv 34 f
- articularis(-es)
 - N. auriculotemporalis 65
 - N. obturatorius 50
 - N. vagus 71
- basalis tentorii, A. carotis interna 184
- bronchiales, N. vagus 71
- buccales, N. facialis 67
- calcanei, N. tibialis 53
- cardiaci
 - cervicales, N. vagus 71
 - thoracici, Sympathikus 224
- thoracici, N. vagus 71
- choroideus ventriculi quarti, A. vertebralis 182
- colli, N. facialis 67
- communicans
 - albus **34**, 223
- fibularis, N. fibularis communis 54, **56**
- griseus 34
- corticales, A. cerebri media 185
- cutaneus(-i)
 - anterior, N. iliohypogastricus 49
 - anteriores, N. femoralis 52
 - cruris mediales, N. femoralis 52
 - lateralis, N. iliohypogastricus 49
- dentales, N. alveolaris inferior 65
- digastricus, N. facialis 67
- dorsalis, N. ulnaris 48
- femoralis, N. genitofemoralis 50
- ganglionares
 - A. carotis interna 184
 - N. maxillaris 64
- genitalis, N. genitofemoralis 50

- gingivales, N. alveolaris inferior 65
- inferior, N. oculomotorius 60
- infrapatellaris, N. femoralis 52
- interganglionares, Grenzstrang 223
- isthmi faucium, N. lingualis 65
- labiales superiores, N. maxillaris 64
- lateralis, N. supraorbitalis 63
- linguales
 - N. glossopharyngeus 70
 - N. lingualis 65
- marginalis
 - mandibulae, N. facialis 67
 - tentorii, A. carotis interna 184
- medialis, N. supraorbitalis 63
- medullares, A. vertebralis 182
- membranae tympani, N. auriculotemporalis 65
- meningeus(-i)
 - A. carotis interna 184
 - A. vertebralis 182
- anterior, A. ethmoidalis anterior 172
- anterior, N. ethmoidalis posterior 63
- N. mandibularis 65
- N. maxillaris 64
- N. vagus 71
- recurrens, N. ophthalmicus 63
- Spinalnerv 34
- musculares
 - A. vertebralis 182
 - N. femoralis 52
 - N. fibularis profundus 56
 - N. fibularis superficialis 56
 - N. medianus 46
 - N. radialis 43
 - N. tibialis 54
 - N. ulnaris 48
 - Plexus lumbalis 49
- musculus stylopharyngei, N. glossopharyngeus 70
- nasales
 - N. ethmoidalis anterior 63
- N. maxillaris 64
- oesophageales
 - N. vagus 71
- Sympathikus 224
- orbitales, N. maxillaris 64
- palmaris
 - N. medianus 46
 - N. ulnaris 48
- palpebrales
 - N. infratrochlearis 63
 - N. maxillaris 64
- parotidei, N. auriculotemporalis 65
- pharyngeus(-i)
 - N. glossopharyngeus 70
 - N. vagus 71
- posterior
 - N. obturatorius 50
- Spinalnerv 34
- profundus
 - N. radialis 43
 - N. ulnaris 46, **48**
- pulmonales, Sympathikus 224
- sinus
 - carotici, N. glossopharyngeus 70
 - cavernosi, A. carotis interna 184

- spinales, A. vertebralis 182, 190
- stylohyoideus, N. facialis 67
- superficialis
- N. radialis 42 f
- N. ulnaris 46, 48
- superior, N. oculomotorius 60
- temporales
- N. auriculotemporalis 65
- N. facialis 67
- tentorius, N. ophthalmicus 63
- terminales, A. cerebri media 185
- tonsillares, N. glossopharyngeus 70
- tonsillares cerebelli, A. vertebralis 182
- tracheales, N. vagus 71
- tubarius, N. tympanicus 70
- zygomati, N. facialis 67
- zygomatofacialis, N. zygomati-
ticus 64
- zygomatocotemporalis, N. zygomati-
ticus 64
- Ranvier-Schnürring 15
- Raphe-Kerne 103
- Rautengrube 95, 97, 176
- Rautenhirn = Rhombencephalon 4
- Entwicklung 26
- Rebound-Phänomen 120
- Recessus
- infundibuli 175
- laterales 176
- membranae tympani 235
- pinealis 176
- supraopticus 176, 263
- suprapinealis 176
- Recklinghausen, Morbus 20, 21
- Reflex
- kutiviszeraler 88
- monosynaptischer 86
- optischer 213, 268
- pathologischer 86
- polysynaptischer 86
- somatischer 86
- spinaler 86
- viszeraler 88
- viszeromotorischer 88
- Reflexzentrum
- optisches 102
- spinoviszerales 88
- Regenbogenhaut *siehe* Iris 245
- Reissner-Membran 239
- Reithosenanästhesie 88
- Rekurrensparese 72
- Relaiskern, spezifischer 134
- Releasing-Hormone 139
- Renin-Angiotensin-Aldosteron-
System = RAAS 137
- Renshaw-Zellen 82
- Retina = Netzhaut 244, 247
- Gefäßversorgung 253
- Retinal 248
- Retinitis pigmentosa 248
- Retino-hypothalamisches
System 212
- Retino-tektales System 212
- Retinotopie 156, 211
- Rezeptor 6
- Reziproke antagonistische Hem-
mung 86
- Rhodopsin 248
- Rhombencephalon *siehe* Rauten-
hirn 4
- Ribbon-Synapse 10

- Richtungshören 215
- Riechbahn 218, 219, 270
- Riechschleimhaut 253
- Riechzellen 219, 253
- Rigor 203
- Rindenprellungsherd 4
- Rückenmark 75
- absteigende Bahnen 85
- arterielle Versorgung 190
- aufsteigende Bahnen 82
- Eigenapparat 86
- Halbseitensyndrom (Brown-
Séquard) 87
- Nervenzellen 78
- Verschaltungen 82
- Zellschichten 80
- Rückenmarksautomatismus 87
- Rückenmarksläsion, traumati-
sche 87
- Rückenmarkssegment 34, 75
- Rucksacklähmung 39
- Rückwärtshemmung 82
- Ruffini-Körperchen 255
- Rumpfataxie 120
- S**
- Sacculus 241
- Saccus
- endolymphaticus 241
- lacrimalis 250
- Sakkadierte Blickfolge, bei Kleinhirn-
läsion 116
- Sakralmark 81
- Satellitenzelle, PNS 14
- Scala
- tympani 239
- vestibuli 239
- Schaffer-Kollateralen 164
- Schallverarbeitung, Innenohr 240
- Schaltzellen, Rückenmark 79
- Scheuklappenphänomen 212
- Schichten
- Cornu ammonis 164
- Gyrus dentatus 165
- Isokortex 151
- Kleinhirnrinde 121
- Rückenmark 80
- Schlaf, Regulation 136
- Schlaf lähmung, N. radialis 43
- Schlaganfall 187
- Schlemm-Kanal 246
- Schluckzentrum 104
- Schlundmuskulatur, Innervation 58
- Schmerz
- langsamer 208
- schneller 208
- somatischer 208
- übertragener 88
- viszeraler 208
- Schmerzleitung 206, 266
- Schmerzverarbeitung 84
- Schmidt-Lantermann-Einker-
bung 15
- Schnecke 238
- Schock, spinaler 87
- Schütz-Bündel *siehe* Fasciculus longi-
tudinalis dorsalis/posterior 106
- Schwann-Zelle 14
- Schweißdrüsen, Innervation 222
- Schwindel
- peripher-vestibulär 230, 242
- zentral 218
- Schwurhand 45

- Sclera 244
- Sehbahn 210, 267
- Sehnenspinde 256
- Sehnervpapille 249
- Sehrinde
- primäre 155
- sekundäre 156
- Seitenhorn, Rückenmark 78
- Seitenstrang = Funiculus latera-
lis 81
- Seitenventrikel 174, 175, 263
- Sekundärfelder, Isokortex 152
- Selective serotonin reuptake inhibitor
= SSRI 103
- Semicanalis
- muscoli tensoris tympani 237
- tubae auditivae 237
- Sensibilität
- epikritische 83
- Oberflächensensibilität 205
- protopathische 83
- Tiefensensibilität 205
- Sensibilitätsstörung
- dissoziierte 87
- kortikal bedingte 155
- radikulär bedingte 35
- Sensomotorik 204
- Septum
- pellucidum 147, 259
- verum 161
- Seromukotympanum 237
- Sinnesfelder, vestibuläre 241
- Sinneszellen
- auditorisches System 240
- gustatorisches System 220, 254
- primäre 6, 218
- olfaktorisches System 218, 253
- sekundäre 6, 220, 242
- vestibuläres System 241
- visuelles System 247
- Sinus
- caroticus 58, 70
- cavernosus 194
- durae matris 170, 193
- marginalis 194
- occipitalis 194
- petrosus
- inferior 194
- superior 194
- rectus 194
- sagittalis
- inferior 194
- superior 194
- sigmoides 194
- sphenoparietalis 194
- transversus 194
- Sinusthrombose 195
- Skotom 211
- Skotopisches Sehen 248
- Somatomotorisches System 199
- Somatosensibles System 205, 266
- Verschaltungen 266
- Spatium
- epidurale 171
- subarachnoideum *siehe* Subarach-
noidalraum 172
- Speicheldrüsen, Innervation 58
- Speichelsekretionszentrum 104
- Spinale Muskelatrophie 23
- Spinaler Schock 87
- Spinalnerv 33, 76
- Äste 33
- Entstehung 33

Spines, Nervenzelle 7
 Spinoafferente Systeme 206
 Spinocerebellum **119**, 204
 Spinozerebelläres System 208
 Sprache, skandierende 120
 Sprachzentrum
 – motorisches (Broca) 153
 – sensorisches (Wernicke) 154
 Spritzenlähmung 56
 SSRI = selective serotonin reuptake inhibitor 103
 Stäbchen, Retina 248
 Standataxie 120
 Stapes 236
 Statine 139
 Statoconia = Stato-/Otolithen 241
 Steigbügel 236
 Stellatumblockade 224
 Sternzellen
 – Kleinhirn 122
 – Isokortex 150
 Steuerhormone 138, **139**
 Strangzellen, Rückenmark 79
 Stratum
 – ganglionare, Kleinhirn 121
 – granulosum
 – – Gyrus dentatus 165
 – – Kleinhirn 121
 – lacunosum, Cornu ammonis 164
 – moleculare
 – – Gyrus dentatus 165
 – – Kleinhirn 121
 – multifforme, Gyrus dentatus 165
 – nervosum, Retina 247
 – oriens, Cornu ammonis 164
 – pigmentosum, Retina 247
 – purkinjense, Kleinhirn 121
 – pyramidale, Cornu ammonis 164
 – radiatum, Cornu ammonis 164
 Stria(-ae)
 – acusticae dorsales 216
 – mallearis 232
 – medullaris 141
 – olfactoriae 149, **219**
 – terminalis 135
 – vascularis 239
 Striatum **157**, 201
 – arterielle Versorgung 189
 Striosomen 158
 Stromgebiet
 – Karotisstromgebiet 184
 – vertebrobasiläres 181
 Stützzellen
 – Corti-Organ 240
 – Geschmacksorgan 254
 Subarachnoidalblutung 168, **186**
 Subarachnoidalraum 169, 171, **172**
 Subclavian-Steal-Syndrom 182
 Subduralhämatom 171
 Subiculum 163, **165**
 Subkortikale Kerne 157
 Subokzipitalpunktion 174
 Substantia
 – gelatinosa 80
 – grisea centralis **101**, 103, 208, 213
 – innominata 160
 – nigra **100**, 203, 261, 263
 – perforata
 – – anterior 149
 – – posterior 99
 – spongiosa 80
 Substratum moleculare, Cornu ammonis 164

Sulcus
 – anterolateralis
 – – Rückenmark 75
 – – Medulla oblongata 94
 – basilaris 97
 – calcarinus **149**, 155, 211
 – centralis 146
 – collateralis 148
 – hypothalamicus 129
 – intermedius posterior
 – – Rückenmark 75
 – – Medulla oblongata 95
 – lateralis **146**, 259
 – limitans **23 f**, 108
 – medianus posterior
 – – Rückenmark 75
 – – Medulla oblongata 95
 – parietooccipitalis 148
 – posterolateralis 75
 – preolivaris 94
 – retroolivaris 95
 Sympathikus **5**, **223**
 – Funktionen 222
 – Nervenzellen, Rückenmark 78
 Synapse 9
 – axoaxonale 10
 – axodendritische 10
 – axosomatische 10
 – Band-Synapse 10
 – cholinerge 11
 – Dornsynapse 10
 – en passant 10
 – erregende = exzitatorische 10
 – Gray-I-Synapse 10
 – Gray-II-Synapse 10
 – hemmende = inhibitorische 10
 – interneuronale 9
 – komplexe 10
 – monoaminerge 11
 – neuroglanduläre 10
 – neuromuskuläre 9
 – Ribbon-Synapse 10
 – serielle 10
 Synaptische Glomeruli 10
 Syndesmosis tympanostapedialis 236
 System(e)
 – absteigendes retikuläres 105
 – akzessorisches optisches 212
 – auditorisches **214**, 269
 – aufsteigendes retikuläres aktivierendes = ARAS 104
 – extrapyramidal-motorisches 85, 199, **200**
 – gustatorisches **220**, 270
 – limbisches 137, **227**, 271
 – olfaktorisches **218**, 270
 – parvozelluläres neuroendokrines 139
 – pyramidal-motorisches 200
 – retino-hypothalamisches 212
 – retino-tektales 212
 – somatomotorisches 199
 – somatosensibles **205**, 266
 – spinoafferente 206
 – spinozerebelläres 208
 – trigeminoafferentes 205
 – vestibuläres **217**, 269
 – visuelles **210**, 267

T
 Tanyzyt 13
 Tapetum 161

Tarsaltunnelsyndrom 53
 Tarsus
 – inferior 249
 – superior 249
 Tectum mesencephali 93, **101**
 Tegmentum
 – Hirnstamm 93
 – Medulla oblongata 96
 – Mesencephalon 101
 – Pons 98
 Telencephalon *siehe* Endhirn 145
 Temperaturempfinden, Weiterleitung 83, **206**
 Temperaturregulation 136
 Temporallappen 154
 Tenon-Kapsel 252
 Tentorium cerebelli 170
 Tetanus 82
 Tetraparese, bei Basilaristhrombose 92, **190**
 Tetraplegie 87
 Thalamus **130**, 157, 260 ff
 – thalamalis 130
 – Nervenzelltypen 130
 – ventralis 130
 – Verschaltungen 131 ff
 Thalamusinfarkt 131
 Thermorezeption 83, **206**
 Thorakalmark 81
 TIA = transitorisch ischämische Attacke 187
 Tiefensensibilität 205
 Tip links 240
 Tonotopie 216
 Tonsilla, Kleinhirn 118
 Tractus
 – bulboreticulospinalis = Tractus reticulospinalis lateralis 105, 205
 – cerebelloolivaris 124
 – cerebelloreticularis 124
 – cerebellorubralis 124
 – cerebellothalamicus 124
 – corticoolivaris 97
 – corticopontinus 107
 – corticospinalis 199
 – – anterior 85, 200
 – – lateralis 85, 200
 – fastigiobulbaris 124
 – hypothalamohypophysealis 138
 – mammillotegmentalis 135
 – mammillothalamicus 135
 – mesencephalicus nervi trigemini 209
 – olfactorius 149, **219**, 259
 – olivocerebellaris **97**, 124
 – olivospinalis 205
 – opticus 211
 – perforans 165
 – pontocerebellaris 124
 – pontoreticulospinalis = Tractus reticulospinalis medialis 105, 205
 – posterolateralis 206
 – pyramidalis *siehe* Pyramidenbahn 200
 – reticulocerebellaris 124
 – reticulospinalis **85**, **205**
 – – lateralis = Tractus bulboreticulospinalis 105
 – – medialis = Tractus pontoreticulospinalis 105
 – rubroolivaris 105
 – rubrospinalis 101, **205**
 – spinobulbaris 82

- spinocerebellaris
- - anterior (Gower) **84**, 124, 209
- - posterior (Flehsig) **84**, 124, 209
- - superior 85
- spinomesencephalicus 84, 208
- spinoolivaris 85, **97**
- spinoreticularis **84**, 208
- spinothalamicus **83**, 107
- - anterior **84**, 206
- - Läsion 190
- - lateralis 84, 206, **208**
- spinovestibularis 85
- tectobulbaris 106
- tectospinalis 205
- tegmental centralis 97, 101, **105**
- trigeminothalamicus **107**, 209
- tuberoinfundibularis 139
- vestibulocerebellaris 124
- vestibulospinales 205, **217**, 269
- vestibulothalamicus 217
- Tragus 231
- Tränendrüse *siehe* Glandula lacrimalis 250
- Tränensack 250
- Transitorisch ischämische Attacke = TIA 187
- Trauma, akutes akustisches 240
- Trendelenburg-Zeichen 56
- Trigeminus-Druckpunkte 64
- Trigeminusneuralgie 62
- Trigeminussystem **209**, 266
- Trigonum
- lemnisci lateralis 99
- olfactorium 219
- Trizepssehnenreflex 87
- Trolard-Vene 192
- Trommelfell 232
- Gefäßversorgung 233
- Innervation 233
- Truncothalamus 130
- Truncus(-i)
- encephali *siehe* Hirnstamm 93
- lumbosacralis 52
- Plexus brachialis 39
- sympathicus = Grenzstrang 223
- vagalis
- - anterior 70
- - posterior 70
- Tuba auditiva 231, **236**
- Innervation 58, **70**
- Tuber
- cinereum 129
- vermis, Kleinhirn 118
- Tuberculum
- cuneatum 95
- gracile 95
- Tuberöse Sklerose 21
- Tunica
- fibrosa bulbi 244
- interna bulbi 244
- vasculosa bulbi 244

U

- Umbo 233
- Umfeldhemmung 82
- Uncus 148
- Unterer Olivenkomplex 97
- Unterhorn, Seitenventrikel **175**, 261

- Urogenitaltrakt, Innervation 222
- Ursprungskegel, Nervenzelle 7
- Utriculus 241
- Uvula 118

V

- Vagina carotica 70
- Vasa corona, Rückenmark 190
- Vasopressin 138
- Vater-Pacini-Körperchen 255
- Velum medullare
- - inferius 96, 117, **176**
- - superius 97, 117, **176**
- Vegetatives Nervensystem 5, **221**
- Vena(-ae)
- anastomotica
- - inferior 192
- - superior 192
- angularis 195
- anteriores cerebri 192
- basalis 192
- cerebelli 192
- cerebri
- - anteriores 192
- - inferiores 192
- - interna 192
- - media 192
- - profundae 192
- - superficiales 192
- cervicalis profunda 193
- diploicae 195
- emissariae 193
- inferior(-es)
- - cerebelli 192
- - cerebri 192
- - vermis 192
- - intercostales 193
- - interna cerebri 192
- - lumbales 193
- - magna cerebri 192
- - media
- - profunda cerebri 192
- - superficialis cerebri 192
- - ophthalmica
- - inferior 252
- - superior 252
- - petrosa 192
- - profundae cerebri 191, **192**
- - radicales 193
- - sacrales 193
- - spinales 193
- - superficiales cerebri 191
- - superiores
- - - cerebelli 192
- - - cerebri 192
- - - trunci encephali 192
- - vertebralis 193
- Ventrikelsystem 174
- Entwicklung 25
- Zellen 13
- Vermis cerebelli 117
- Verstärkermechanismus, kochleärer 240
- Vertikale Kolumnen, Isokortex 151
- Vestibuläre Sinnesfelder 241
- Vestibuläres System **217**, 269

- Vestibulariskerne 217
- Verbindungen 217
- Vestibulocerebellum **119**, 204
- Vestibulum, Innenohr **238**, **241**
- Vierhügelplatte 99, **101**, 264
- Visuelles System **210**, 267
- Vorderhirn 4
- Vorderhirnbündel, mediales 136
- Vorderhorn
- Rückenmark 78
- Seitenventrikel **175**, 259
- Vorderhornzelle, Rückenmark 78
- Vorderseitenstrang 81 ff
- Vorderseitenstrangssystem 206
- Vorderstrang = Funiculus anterior 81
- Vorderwurzel *siehe* Radix anterior 33
- Vorwärtshemmung 82
- VPL = Nucleus ventralis posterolateralis **132 f**, 206, 261
- VPM = Nucleus ventralis posteromedialis **132 f**, 209

W

- Wach-Schlaf-Rhythmus 105
- Waller-Degeneration 16
- Wasserhaushalt, Regulation 137
- Weißer Substanz 3
- Endhirn 145, **161**
- PNS 5
- Rückenmark 75, **81**
- ZNS 5
- Wernicke-Aphasie 154
- Wernicke-Sprachzentrum 154
- Wundstarrkrampf 82
- Würgreflex 104
- Wurzelzellen, Rückenmark 78

Z

- Zapfen, Retina 248
- Zeis-Drüsen 249
- Zentrales Höhlengrau *siehe* Substantia grisea centralis 101
- Zentralkanal, Rückenmark 24
- Zentralnervensystem *siehe* ZNS 3
- Zentrum, motorisches 105
- Zeruminalpfropf 232
- Zervikalmark 81
- Ziliarkörper 244 f
- Zirbeldrüse *siehe* Epiphyse 140
- Zirkadiane Rhythmik **136**, 273
- Zirkumventrikuläre Organe 178
- ZNS = Zentralnervensystem 3
- graue Substanz 4
- weiße Substanz 5
- Zona incerta 130, **133**
- Zona marginalis, Rückenmark 80
- Zunge
- Geschmacksknospen 254
- motorische Innervation 72
- sensible Innervation 6, **58**, 65, 70
- sensorische Innervation 6, **58**, 67, 70, **220**
- Zwischenhirn = Diencephalon 129
- Entwicklung 27
- Zytoskelett, Nervenzelle 7